

Departement für Nutztiere, Abteilung für Wiederkäuerchirurgie
der Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich

Direktor: Prof. Dr. Heiner Bollwein

Arbeit unter wissenschaftlicher Betreuung von
Prof. Dr. Karl Nuss

Einfluss von Gliedmassenstellung und Gewichtsverlagerung auf die Klauenbelastung der Hinterbeine von Milchkühen

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der
Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich

vorgelegt von

Judith Müller

Tierärztin
von Bütschwil, SG

genehmigt auf Antrag von

Prof. Dr. Karl Nuss, Referent
Prof. Dr. Michael Hässig, Korreferent

2018

1 Inhalt

1. Zusammenfassung	5
2. Summary	6
3. Einleitung und Zielsetzung	7
4. Literaturübersicht	8
4.1. Anatomische und biomechanische Faktoren, die die Entstehung von Klauenerkrankungen, speziell an den Hinterbeinen, begünstigen	8
4.2. Gliedmassenstellung	10
4.3. Klauenpflege	11
4.4. Züchtung auf Klauengesundheit	12
4.5. Genetik und Lahmheit	15
4.6. Druck- Kraft- und Flächenmessungen an Klauen	16
4.7. Kraft- und Druckmessungen vor und nach funktioneller Klauenpflege	19
4.8. Gewichtsverlagerung	21
4.9. Anwendungsmöglichkeiten der Druck- und Kraftmessungen	21
5. Material und Methoden	23
5.1. Untersuchungsaufbau	23
5.2. Tiere	24
5.3. Messsystem	25
5.4. Messstand	27
5.5. Versuchsablauf	27
5.6. Auswertung der Daten	28
5.7. Statistik	31
6. Ergebnisse	32
6.1. Gliedmassenstellungen	32
6.1.1. Kühe mit normaler Gliedmassenstellung (n = 12)	32
6.1.2. Kühe mit steiler Stellung in den Sprunggelenken (n = 12)	37
6.1.3. Kühe mit kuhhessiger Gliedmassenstellung (n = 12)	46
6.1.4. Kühe mit fassbeiniger Gliedmassenstellung (n = 3)	53
6.2. Gewichtsverschiebung (n = 40 Kühe)	58
6.2.1. Veränderung der Gewichtskräfte an den Klauen beim Verschieben des Beckens von der linken auf die rechte Hintergliedmasse	58
6.2.2. Veränderung der Fläche an den Klauen beim Verschieben des Beckens von der linken auf die rechte Hintergliedmasse	60
6.2.3. Veränderung des mittleren Drucks an den Klauen beim Verschieben des Beckens von der linken auf die rechte Hintergliedmasse	60

6.2.4.	Veränderung des Maximaldrucks an den Klauen beim Verschieben des Beckens von der linken auf die rechte Hintergliedmasse	65
6.2.5.	Einfluss der Klauenpflege auf die Klauenbelastung bei Verschieben des Beckens von der linken auf die rechte Hintergliedmasse	65
7.	Diskussion	75
7.1.	Material und Methoden	75
7.2.	Resultate	78
7.2.1.	Vergleich der Gliedmassenstellungen	78
7.2.2.	Gewichtsverschiebung.....	79
7.2.3.	Gelenkwinkel.....	81
7.2.4.	Effekt der Klauenpflege auf die Kühe mit normaler Gliedmassenstellung	81
7.3.	Schlussfolgerungen	86
8.	Literaturverzeichnis.....	87
9.	Anhang	92
10.	Danksagung	
11.	Lebenslauf	

1. Zusammenfassung

Die Ziele der hier vorgelegten Arbeit waren, die Kraft, den Druck und die Fläche unter den Klauen der Hintergliedmassen von Kühen mit unterschiedlichen Gliedmassenstellungen zu messen und zu vergleichen. Weiterhin sollte festgestellt werden, wie sich die Kraft, der Druck und die Fläche unter den Klauen veränderten, wenn eine Verschiebung des Körpergewichts von einem Hinterbein auf das andere induziert wurde. Zu diesem Zweck wurden 40 laktierende Kühe dreier Milchviehrassen mit unterschiedlichen Gliedmassenstellungen mittels einer Kraft- und einer damit kombinierten Druckmessplatte untersucht; die Gewichtsverschiebung bei Verschieben des Beckens wurde bei allen Kühen gemessen. Die Messungen wurden vor und nach funktioneller Klauenpflege durchgeführt.

Zwischen den unterschiedlichen Gliedmassenstellungen konnten nur wenig signifikante Unterschiede hinsichtlich Kraft-, Flächen-, und Druckverteilung festgestellt werden. Bei allen Gruppen trug die Aussenklaue und ihre Ballenzone signifikant mehr Gewichtskraft als die Innenklaue und deren Ballenzone. Bei Verschiebung der Belastung auf eine Körperseite wurde die Aussenklaue dieser Hintergliedmasse und speziell deren Ballenzone noch stärker mehrbelastet. Somit sollte für die Verbesserung der Klauengesundheit nicht zu viel Energie in die genetische Beeinflussung der Gliedmassenstellung, sondern mehr in die artgerechte Gestaltung von Stallböden geleitet werden.

2. Summary

The objectives of the present study were to measure and compare forces and pressures acting on the hind claws and to determine the ground contact areas of the hind claws of cows with different hind-limb postures (normal, bow-legged, cow-hocked, and straight-legged). In addition, the same variables were measured when a shift in weight-bearing between the hind limbs was induced by manually pushing the pelvic area sideways. Forty lactating dairy cows consisting of three different breeds and with various hind-limb postures were used, and functional foot trimming was done before the investigations. Measurements were made using a force plate that was connected to a pressure plate; changes in weight-bearing after manipulation of the pelvis were also determined in all cows.

There were only a few significant differences in the distribution of forces, pressures and contact areas between the different postures. The lateral claw and its heel region always carried significantly more weight than the medial claw and its heel region. Shifting weight from one limb to another was associated with increased weight-bearing by the lateral claw, particularly the heel region of that claw. These findings suggest that improvement of claw health should focus on the design of cow-friendly barn flooring rather than on genetic enhancement of hind-limb conformation.

3. Einleitung und Zielsetzung

Klauenerkrankungen sind in der heutigen Milchviehzucht aufgrund ihrer hohen Prävalenz ein grosses Problem. Neben ökonomischen Aspekten werden die in der Tierhaltung entstehenden Leiden immer mehr zu einem gesellschaftlich relevanten Thema, das auch das Konsumverhalten verändert. Klauenerkrankungen haben einen direkten und einen indirekten Einfluss auf die ökonomischen Verluste. Einerseits entstehen Kosten durch die aufwendige Behandlung oder die Schlachtung abgemagerter und kranker Kühe, andererseits weisen Kühe, die an einer Klauenerkrankung leiden, eine Minderung der Milchleistung um geschätzte 2-3% auf; weiterhin wird die Fruchtbarkeit beeinträchtigt und die Nutzungsdauer verkürzt (Boettcher et al., 1998; Chapinal et al., 2013; Distl, 1995). Nach den Abgängen aufgrund von Fruchtbarkeitsproblemen und Mastitis ist die Lahmheit nach offiziellen Statistiken die dritthäufigste Abgangsursache bei Milchkühen (Boettcher et al., 1998), wobei der Anteil mit 15% inzwischen nahezu gleich hoch wie der der Mastitis ist (Anacker, 2004). Hinzu kommt, dass das Tierwohl durch Klauenerkrankungen stark beeinträchtigt ist. Kühe, welche an einer schmerzhaften Klauenerkrankung leiden, verbringen weniger Zeit am Fressplatz und verlieren so an Gewicht (Flower et al., 2005; O'Callaghan et al., 2003).

Der Forschungs- sowie auch der Handlungsbedarf im Bereich der Klauenerkrankungen sind gross. Es sind noch nicht alle Faktoren, die zu einem gehäuften Auftreten von Klauenerkrankungen führen, sowie auch die Auswirkungen solcher Erkrankungen, bekannt. Die Bestrebung nach züchterischem Einwirken auf die Klauengesundheit ist vorhanden (Boettcher et al., 1998; Distl, 1999). Ein Zusammenhang zwischen Fundamentmerkmalen und der Klauengesundheit wurde vermutet und untersucht (Capion et al., 2008; Chapinal et al., 2013).

Aufgrund dessen war es das Ziel der hier vorliegenden Arbeit, die Kraft- und Druckverteilung unter den Klauen von Hintergliedmassen bei Kühen mit unterschiedlichen Gliedmassenstellungen zu messen und zu vergleichen. Für die vorliegende Untersuchung wurde die Hypothese aufgestellt, dass die Gliedmassenstellung einen entscheidenden Einfluss auf die Belastung der Klauen und ihrer verschiedenen Anteile hat. Weiterhin sollte die Theorie, dass bei einer Verschiebung der Belastung von einem Hinterbein auf das andere die Aussenklaue vermehrt belastet wird, geprüft und das Ausmass der Mehrbelastung genauer bestimmt werden.

4. Literaturübersicht

4.1. Anatomische und biomechanische Faktoren, die die Entstehung von Klauenerkrankungen, speziell an den Hinterbeinen, begünstigen

Viele verschiedene ursächliche Faktoren für die Entstehung von Klauenerkrankungen wurden in der Literatur bislang aufgeführt (Becker et al., 2014; Benz et al., 2002; Bergsten, 2001; Chapinal et al., 2013; Sibley, 2012). Extensiv gehaltene Rinder wiesen auffallend andere Klauenformen als Milchkühe in Laufstallhaltungen auf, wodurch erstmals versucht wurde, die „natürliche“ Klauenform von Rindern zu definieren (Keller et al., 2009; Nuss et al., 2014); ganzjährig auf der Weide gehaltene Rinder litten selten an Klauenerkrankungen (Nuss et al., 2014; Tranter and Morris, 1992). Dies wies nach Meinung der Autoren darauf hin, dass viele der heutzutage beobachteten Klauenerkrankungen auf der Interaktion von Klauen und unnatürlichem Untergrund beruhten. Ein wichtiger Faktor für die Entstehung von Läsionen des Hornschuhs unter den Bedingungen der Stallhaltung sollte unter anderem die ungleiche Gewichtsverteilung auf die Klauen sein (Zeiner et al., 2007). Die Stabilität der Stützfläche der Klaue war nach Ansicht dieser Autoren wichtig, damit sie ihre Funktion des Tragens des Körpergewichts erfüllen konnte. Als Gründe für eine „Instabilität“ nannten sie unter anderem die ungleichmässige oder ungenügende Abnutzung des Klauenhorns. In einer einflussreichen Monographie wurde der Ballen der medialen Klaue der Hintergliedmassen als weniger ausgebildet beschrieben, er sollte auch weniger weit nach axial als der Ballen der lateralen Klaue reichen (Toussaint Raven, 1998). Wenn Klauenabmessungen bei konstanter Sohlendicke an Präparaten gemessen wurden (Nuss and Paulus, 2006; Paulus, 2004), war bei Kühen im Alter von 23-36 Monaten der Ballenbereich der lateralen Klaue höher als derjenige der medialen Klaue. Mit zunehmendem Alter der Kühe nahm die Ballenhöhe der medialen Klaue ab, während die Ballenhöhe der lateralen Klaue unverändert blieb. Die Autoren diskutierten, dass sowohl das Horn des Ballens der medialen Klaue aufgrund geringerer Belastung nicht dieselbe Wachstumsrate wie das Horn des Ballens der lateralen Klaue aufweisen könnte. Bei Rindern verschiedenen Alters und Geschlechts war die Belastungsfläche der Innenklaue kleiner, wodurch die Innenklaue weniger Last aufnahm als die Aussenklaue (Nuss and Paulus, 2006). Eine frühere Überlegung war, dass die mediale Klaue instabiler war und die Tendenz hatte, nach axial abzukippen und so die Belastung auf die laterale Klaue zu übertragen (Toussaint Raven, 1998). Die laterale Klaue, so die Hypothese, hypertrophierte in Folge der Mehrbelastung. Bei dieser Hypothese, die von anderen übernommen wurde, wurde angenommen, dass die Knochenstrukturen der medialen und der lateralen Klaue gleich sind (Ossent et al., 1987). Auch nach einer Exungulation an Präparaten war jedoch ein Unterschied zwischen dem Ballen der medialen und der lateralen Klaue sichtbar; Der Ballen der ausgeschuhten lateralen Klaue war 4 mm höher als der der medialen. Dies wies auf eine Ungleichheit der medialen und der lateralen Klaue hin (Paulus and Nuss, 2006). Nacambo et al. (2007) stellten fest, dass bei 98.8% der untersuchten Kälber und Kühe (n=52) die lateralen Kondylen der Ossa metatarsalia

länger waren als die medialen. Bei ein bis dreizehn Tage alten Kälbern betrug der Unterschied im Mittelwert 0.85 mm, bei zwischen 14 und 137 Tagen alten Kälbern 1.20 mm und bei Kühen 1.70 mm (Nacambo et al., 2007). Dieser Längenunterschied der Kondylen hatte nach den Ergebnissen nachfolgender Untersuchungen Auswirkungen auf die Gesamtlänge der Zehen (Phalanx 1, 2 und 3). Die laterale Zehe war bei Rindern unterschiedlichen Alters, ausgenommen der Kälber, signifikant länger als die mediale. Bei Kälbern waren die Zehen nahezu gleich lang (Muggli et al., 2011). Wurde die distale Phalanx von der Längenmessung ausgeschlossen, war die laterale Zehe der Hintergliedmasse bei Kälbern ebenfalls länger als diejenige der medialen Zehe (Schwarzmann et al., 2007). Der Längenunterschied variierte von 1.7 bis zu 4.8 mm. Eine daraus abgeleitete Hypothese war, dass bei Kühen mit einem stark ausgeprägten Längenunterschied die laterale Klaue der Hintergliedmasse stark überbelastet wurde. Somit wären sie prädisponiert, an einem Sohlengeschwür an der lateralen Klaue der Hintergliedmasse zu erkranken (Muggli et al., 2011). Erste Untersuchungen bestätigten diese Annahme jedoch nicht, sondern zeigten, dass Kühe mit oder ohne aktuell vorhandenem Sohlengeschwür entsprechende Längenunterschiede aufwiesen (Rüegsegger et al., 2015). Durch hochfrequenzkinematographische Untersuchungen wurde sichtbar gemacht, dass die laterale Klaue beim Gehen vor der medialen Klaue den Boden berührte (Meyer et al., 2007; Schmid et al., 2009). Die lateralen Klauen der Hinterbeine wurden demnach während des Stehens und während des Gehens vermehrt belastet. Eine Hypothese für die Nützlichkeit eines solchen Längenunterschieds ging dahin, dass auf weichem Untergrund die laterale Klaue zuerst einsinken und den Körperschwerpunkt gegen die Mediane hin stabilisieren sollte (Meyer et al., 2007; Muggli et al., 2011).

Kühe zogen weichen Untergrund dem Betonboden vor (Benz et al., 2002; Telezhenko et al., 2007). Das Aufstallen auf weichem Untergrund förderte zusätzlich die eigene Körperpflege, erhöhte die Schrittlänge von weniger als 60 cm auf 80 cm und erhöhte die Ganggeschwindigkeit im Vergleich zur Aufstallung auf hartem und rutschigem Boden (Benz et al., 2002). Ein Grössenunterschied zwischen der lateralen und der medialen Klaue an der Hintergliedmasse war schon bei Kälbern nachweisbar und wurde deshalb nicht auf die Haltungsbedingungen zurückgeführt, sondern als angeboren angesehen (Schwarzmann et al., 2007).

Die derzeit so hohe Inzidenz der Lahmheiten bei Milchkühen wurde auch dadurch ermöglicht, dass viele Landwirte die Anzahl an Kühen mit einer Lahmheit in ihrem Betrieb entweder nicht erkannten oder unterschätzten (Flower et al., 2005; Pastell et al., 2010). Eine Früherkennung war jedoch nicht leicht, denn Kühe zeigten häufig erst eine eindeutige Lahmheit, wenn die Veränderungen bereits fortgeschritten waren (O'Callaghan et al., 2003). Hinzu kam, dass es in vielen Ländern aufgrund der Betriebsgrössen nicht möglich war, jedes einzelne Tier unter konstanter Beobachtung zu halten (Pastell et al., 2010). Deswegen wurden verschiedene Methoden zur automatisierten Lahmheitserkennung intensiv erforscht. Dazu gehörten unter anderem die Thermographie, Pedometer, Accelerometer, Messungen des Fress- und Wiederkauvorganges, automatische Druckmessungen im Melkroboter oder in den

Laufgängen sowie auch kinetischen Messungen mittels Videoaufnahmen und Analysen (Alsaad et al., 2015; Chapinal et al., 2013; Flower et al., 2005; Main et al., 2012; Pastell et al., 2010; Pluk et al., 2012; Rajkondawar et al., 2006; Sibley, 2012; Wilhelm et al., 2015).

4.2. Gliedmassenstellung

Das „Fundament“ einer Kuh wurde von den Zuchtverbänden als Überbegriff für die Gliedmassen- und Klaueneigenschaften definiert (Hodel, 2015). Grundsätzlich wurde das Fundament als angeboren angesehen, aber auch als durch verschiedene Faktoren, wie zum Beispiel die Umwelt, die Klauenpflege, Erkrankungen oder das Alter der Kuh, beeinflusst (Bergsten, 2001). Als Beschreibung und Bewertung des Exterieurs und des Fundaments von Kühen, Färsen und Bullen wurde die lineare Beschreibung entwickelt, bei der Merkmale mittels Punktesystem bewertet wurden (Anonym, 2013; Greenough, 2007; Hodel, 2015). Die World Holstein-Friesian Federation (WHFF) legte 16 Merkmale fest, die bei jeder linearen Beschreibung beurteilt werden sollten. Davon betrafen drei Merkmale, nämlich Klauenwinkel, Hinterbeinstellung (von kaudal), Hinterbeinwinkelung (von lateral), das «Fundament» (Anonym, 2013; Greenough, 2007). Je nach Land und Region konnten aber weitere Merkmale hinzugefügt werden oder auch die Bewertung an die Umgebung angepasst werden (Greenough, 2007). Zur Exterieurbeurteilung wurden neben dem Fundament auch der Rahmen, das Becken, das Euter und die Zitzen definiert. Das Fundament machte 25% an der Gesamtnote aus (Anonym, 2013, 2014). Der beste Zeitpunkt, eine Kuh linear zu beschreiben, wurde von den Zuchtverbänden als nach dem Abschluss des Knochenwachstums angesehen, bei einer Kuh demnach im Alter von 48-60 Monaten (Greenough, 2007). Die lineare Beschreibung wurde jedoch üblicherweise während der ersten Laktation durchgeführt, konnte aber nach Bedarf auch in den darauffolgenden Laktationen wiederholt werden (Hodel, 2015). Wurde eine weitere lineare Beschreibung zu einem späteren Zeitpunkt als in der ersten Laktation durchgeführt, konnten Merkmale wie die Klauenform schlecht mit der ersten linearen Beschreibung verglichen werden, da diese stark von der Umwelt, der Fütterung, der funktionellen Klauenpflege, der Haltung und auch von allfälligen Erkrankungen abhängig war (Greenough, 2007).

Bei der linearen Beschreibung wurden die Merkmale subjektiv mittels eines Punktesystems beurteilt. Die Punktzahl für jedes Merkmal reichte von eins bis neun, wobei eins und neun jeweils die Extreme in der Ausprägung eines Merkmals darstellten. Meist war die optimale Ausbildung eines Merkmals bei der Punktzahl fünf zu finden. Ein Beispiel: Der Sprunggelenkwinkel wurde mit der Ziffer eins bewertet, wenn der Winkel sehr gross war (Steilstellung) und mit der Ziffer neun, wenn der Winkel sehr klein war (säbelbeinig) (Anonym, 2014). Untersuchungen zufolge betrug der dorsale Sprunggelenkwinkel bei Kühen $155^{\circ} \pm 4^{\circ}$ (Fessler, 1974; Herlin and Drevemo, 1997) und bei Färsen $167^{\circ} \pm 0.7^{\circ}$ (Vermunt and Greenough, 1996). Der Sprunggelenkwinkel verringerte sich mit dem Alter der Tiere

(Vermunt and Greenough, 1996). Der optimale Sprunggelenkwinkel wurde auf 150° (Anonym, 2014) oder auf 147° (Greenough, 2007) festgesetzt.

Der durchschnittliche dorsale Fesselgelenkwinkel betrug bei Kühen $169^\circ \pm 4^\circ$ (Herlin and Drevemo, 1997), nach einer anderen Untersuchung lag er zwischen 154° und 162° (Fessler, 1974). Die Zuchtverbände massen den Fesselgelenkwinkel nicht, sondern beurteilten ihn subjektiv mit der Ziffer eins für „durchtretend“ und der Ziffer neun für „überkötend“ (Anonym, 2014). Der Winkel zwischen der dorsalen Klauenwand und dem Boden wurde an der Hintergliedmasse als optimal angesehen, wenn er zwischen $45\text{--}50^\circ$ lag (Greenough, 2007). Bei der Beurteilung der Kuh von hinten sollte der Metatarsus vertikal zum Boden stehen und der Tarsus mit dem Tuber calcanei sowie die Klauen parallel zur Mittellinie des Körpers ausgerichtet sein (Greenough, 2007). Zeigte der Tuber calcanei im Stand nach medial und die Klauen nach lateral, wurde diese Gliedmassenstellung als kuhhessig bezeichnet. Durch die Zuchtverbände wurde diese Stellung mit Strafpunkten bewertet (Anonym, 2013, 2014).

Kühe, die auf der Weide gehalten wurden, wiesen eine signifikant höhere Aktivitätsrate, einen grösseren und „somit besseren“ Sprunggelenkwinkel von der Seite gesehen und zusätzlich auch einen „besseren Fusswinkel“ der Hintergliedmassen auf als Kühe, die auf Stroh aufgestallt waren. Kühe, die auf der Weide gehalten wurden, wiesen insgesamt weniger häufig eine Klauenerkrankung auf als Kühe in anderen Haltungssystemen. Sobald der Boden der Stallung rutschig, verschmutzt und uneben war, verschob sich innerhalb von fünf Monaten die Aktivität und die Parameter Fusswinkel, Sprunggelenkwinkel und Knochenqualität ins Negative, sprich die Tiere bewegten sich weniger, wurden durchtrittig und der Sprunggelenkwinkel nahm ab (Herlin and Drevemo, 1997; Onyiro and Brotherstone, 2008). Eine Theorie für die reduzierte Anfälligkeit für Lahmheit bei Weidehaltung war, dass auf Gras die weichere Fläche für das Abliegen und Aufstehen vorhanden war. Dies unterstrich die Bedeutung eines weichen Untergrunds in den Liegebereichen der Stallungen (Onyiro and Brotherstone, 2008).

4.3. Klauenpflege

Die Klauenpflege wurde seit jeher als ein wichtiger Teil unter den Pflegemassnahmen bei Milchkühen angesehen. Sie diente immer auch als diagnostische, prophylaktische und therapeutische Massnahme im Bereich der Klauenerkrankungen (Manske et al., 2002). Die funktionelle Klauenpflege nach Toussaint Raven berücksichtigte im Vergleich zu anderen Methoden, zum Beispiel der Allgäuer Methode, auch biomechanische Faktoren. Dazu zählten die unterschiedlichen Grössenverhältnisse der lateralen und der medialen Klaue, die „Schiefstellung des Beckens“ beim Vorführen der Gliedmasse, die Gewichtsverteilung beim Stehen, sowie auch die Haltungsbedingungen, die auf das Hornwachstum und den Abrieb Einfluss hatten (Toussaint Raven, 1971, 1998). Die «funktionelle Klauenpflege» strebte eine Korrektur der Lastverteilung innerhalb der Klaue sowie auch innerhalb des Klauenpaares an. Das Risiko für die Entstehung von Klauenerkrankungen, die durch eine Fehl- oder Überbelastung

der Klauen zustande kamen, wurde bei korrekt und regelmässig durchgeführter Klauenpflege gesenkt (Sohr, 1999; Toussaint Raven, 1998). Die Hauptziele der funktionellen Klauenpflege erreichte man nach Toussaint Raven durch eine definierte, möglichst kurze Dorsalwand, einen relativ steilen Vorderwandwinkel und möglichst grosse Ballenhöhe (Toussaint Raven, 1998). Für die Sohlendicke wurde ein Wert von mindestens 5 mm im Bereich der Klauenspitze und 8 mm im Bereich des Ballen angestrebt; bei Laufstallhaltung wurde eine grössere Sohlendicke empfohlen (Paulus and Nuss, 2006). Wenn bei Kühen unabhängig von der Haltung die funktionelle Klauenpflege zweimal anstatt einmal im Jahr durchgeführt wurde, war ein positiver Effekt auf die Prävalenz von Lahmheit und Hornschuh-Läsionen der Hintergliedmasse feststellbar (Groenevelt et al., 2014; Manske et al., 2002). Als Grund dafür wurde auch das frühe Erkennen einer Klauenläsion angesehen. Beim Auftreten von Sohlenblutungen konnte durch funktionelle Klauenpflege eine bessere Gewichtsverteilung erreicht und somit das Entstehen eines Sohlengeschwürs verhindert werden (Groenevelt et al., 2014). Der positive Effekt der funktionellen Klauenpflege war aber nur vorhanden, wenn sie korrekt und mit den richtigen Instrumenten durchgeführt wurde. War dies nicht gewährleistet, konnte es nach der Klauenpflege zu einem gehäuftem Auftreten von Klauenläsionen, speziell von Sohlengeschwüren, kommen (Vermunt, 1999). Durch die funktionelle Klauenpflege konnte die durchschnittliche Kraft, die auf den Klauen wirkte, erniedrigt werden, weil sie auf eine grössere Sohlenfläche verteilt werden konnte (Carvalho et al., 2005; Nuss and Paulus, 2006; van der Tol et al., 2004). Dabei musste in der modifizierten Form der funktionellen Klauenpflege beachtet werden, dass die mediale Klaue der lateralen angepasst wurde. Schnitt man die laterale Klaue auf den Level der medialen zurück, wurde das Sohlenhorn der lateralen Klaue zu dünn (Nuss and Paulus, 2006). Dasselbe galt für den tieferen Ballenbereich der medialen Klauen: Bei einer Anpassung des Ballenbereichs der lateralen Klaue an den medialen konnte der Ballen der lateralen Klaue abnormal tief werden. Dadurch war die Klaue eventuell anfälliger für Ballenhornfäule und Dermatitis digitalis (Nuss and Paulus, 2006).

4.4. Züchtung auf Klauengesundheit

Das Fundament der Milchkühe hat nach allgemeiner Ansicht einen Einfluss auf die Langlebigkeit, die Wirtschaftlichkeit sowie auch auf ihre Nutzungsdauer. Ein gutes und gesundes Fundament sollte somit mit der Lebensdauer auch die Lebensleistung erhöhen (Distl, 1995, 1996). Die durchschnittliche Lebensdauer der Milchkühe hat sich jedoch in den letzten Jahren drastisch verkürzt. Lahmheiten bei Milchkühen waren über die vergangenen Jahrzehnte bis in die Gegenwart weit verbreitet und die Ursachen in der Regel zu mehr als 90% an den Klauen zu finden. Bevorzugt betroffen waren Tiere in der Hochlaktation (Distl, 1995). Aus diesem Grund war es nach übereinstimmender Ansicht wichtig, ein gezieltes Zuchtprogramm zur Verbesserung der Fundamentmerkmale und somit auch zur Verbesserung der Klauengesundheit zu entwickeln (Boettcher et al., 1998; Distl, 1995; Van Dorp et al., 2004).

Diese bestand darin, die genetische Anfälligkeit für Klauenerkrankungen mit gezielter Selektion zu senken (Boettcher et al., 1998; Distl, 1999; Van Dorp et al., 2004). Die Selektionsmerkmale sollten mit geringem Arbeitsaufwand erfasst werden können, sollten wiederholbar sein und nicht unter zu grossem Einfluss des Betrachters stehen. Distl (1995) meinte, dass sich Klauenmasse für die Selektion auf ein gesundes Fundament am besten eigneten, weil sie messbar und schnell zu erfassen waren. Zusätzlich hatten die Klauenmasse bereits bei Jungbullen eine züchterische Aussagekraft und wiesen eine hohe Heritabilität auf, auf die eine Selektionsantwort zu erwarten war (Distl, 1995). Die Heritabilität für die Konformation der Hintergliedmassen wurde auf 0.23 und für den Fusswinkel auf 0.1 geschätzt (Van Dorp et al., 2004). Es bestand ein Zusammenhang zwischen den Fundamentmerkmalen der Jungbullen und den Klauenerkrankungen sowie der Nutzungsdauer ihrer Töchter (Distl, 1996). Die Klauenmasse und die Gliedmassenstellung wiesen eine deutliche genetische Beziehung zu Krankheiten des Fundaments bei den Kühen auf. Die genetische Variationen waren bei den Jungbullen grösser als bei den erstlaktierenden Kühen und somit waren die Selektionsmöglichkeiten gegeben (Distl, 1996). Im Jahre 1996 stellte Distl bei erstlaktierenden Kühen ($n = 1938$) eine hohe Inzidenz von steilen Sprunggelenken (20.0%) und steilen Fesseln (13.3%) fest. Die fassbeinige sowie die kuhhessige Gliedmassenstellung waren mit 4.2% bzw. mit 8.4% Inzidenz vertreten (Distl, 1996). Die Gliedmassenstellung wurde mittels Punktesystem, das in der linearen Beschreibung verwendet wurde, bewertet. Ein steilerer Vorderwandwinkel der Klaue, eine kleinere Fussungsfläche und eine grössere Ballenlänge sollten signifikant mit einer geringeren Inzidenz von Klauenerkrankungen im Zusammenhang stehen (Distl, 1995). Durch zusätzliche Beurteilung der Gliedmassen sollte die Häufigkeit von Klauenerkrankungen daher gesenkt werden können (Distl, 1995). Er plädierte dafür, moderne Messtechniken zur Erfassung der Selektionsmerkmale einzusetzen. Elektronische Messungen der Druckverteilung würden die Effizienz in der Selektion von Jungbullen erhöhen. Die Traumatisierung der inneren Strukturen war seiner Ansicht nach häufig die Folge einer unphysiologischen Druckverteilung an der Kontaktfläche der Klauen. Durch Druckmessungen bei Jungbullen konnten Prädispositionen für Klauenerkrankungen seiner Einschätzung nach besser erkannt werden (Distl, 1995).

Die Beurteilung des Fundaments inklusive der Klauenmasse und der Klauenhornhärte konnten zudem auch Aufschluss über die Nutzungsdauer geben (Huth et al., 2005). Die Merkmale des Fundaments sowie auch Merkmale des Euters und die Eutergesundheit hatten ihrer Ansicht nach eine enge Beziehung zur Nutzungsdauer der Tiere. Diese Informationen lagen früher als die effektive Nutzungsdauer vor und konnten somit als indirekte Merkmale zur Verbesserung der Nutzungsdauer verwendet werden (Buenger et al., 2003). Stiere, deren Töchter eine unterdurchschnittliche Nutzungsdauer aufwiesen, zeigten in der linearen Beschreibung des Körpers, des Fundaments und des Euters ein genau gegenteiliges Bild im Vergleich mit Stieren, deren Töchter eine überdurchschnittliche Nutzungsdauer aufwiesen (Buenger et al., 2003). Stiere mit einer hohen Nutzungsdauer hatten überlegene Zuchtwerte im Bereich des Fundaments und des Euters, vererbten aber eher wenig Körpertiefe, Milchcharakter und Beckenbreite. Die Gewichtung der Milchviehzucht auf viel Milchcharakter, Körpergrösse und

Körpertiefe beeinflusste die Funktionalität, Nutzungsdauer und somit auch den ökonomischen Aspekt negativ (Buenger et al., 2003). Die Kenntnis über die Entwicklung von Klaueneigenschaften und der damit zusammenhängende Druckverteilung trug dazu bei, die Ursache für eine ungleiche Gewichtsverteilung zwischen lateraler und medialer Klaue zu verstehen (Huth et al., 2005). Zwischen Färsen der Rassen Angler Rotvieh, Deutsches Braunvieh und dem Deutschen Holstein ergaben sich an den Hintergliedmassen unterschiedliche Gewichtsverteilungen. So lastete das Gewicht bei 12-18 Monate alten Färsen des Angler Rotviehs zu 52.6% auf der medialen Klaue, während bei den beiden anderen Rassen die laterale Klaue stärker belastet wurde (Huth et al., 2005). Insgesamt war nach dieser Untersuchung der Flächenanteil der medialen Klaue der Hintergliedmasse geringer als der der lateralen Klaue. Im Kälberalter war diese Verteilung noch anders. Die mediale Klaue der Hintergliedmasse wies in diesem Alter noch den deutlich grösseren Flächenanteil auf und trug somit auch prozentual mehr Gewicht (Alsleben et al., 2003; Huth et al., 2004). Die Umkehrung der Gewichtsverhältnisse schien im Alter von etwa 12 Monaten zu geschehen. Jedoch wiesen die Tiere zu jenem Zeitpunkt noch nicht die Gewichtsverteilung auf, wie sie bei Kühen vorgefunden wurden (Toussaint Raven, 1971; van der Tol et al., 2002). Aus diesem Grund gingen die Autoren davon aus, dass eine Erhöhung der Druckbelastung erst nach Beendigung des Grössenwachstums der Klauen eintrat (Huth et al., 2005). Bei extensiv gehaltenen Kühen war eine leichte Asymmetrie zwischen der medialen und lateralen Klaue der Hintergliedmassen erkennbar, jedoch war diese weniger ausgeprägt als bei Milchkühen, die im Laufstall oder im Anbindestall gehalten wurden (Nuss et al., 2014). Die von Huth et al. (2005) sowie Alsleben et al. (2003) festgestellte Druckumverteilung bei Jungrindern konnte von Bruderer (2015) nicht bestätigt werden. Bereits Jungrinder (Mittelwert 11.4 Monate alt) wiesen an den Hintergliedmassen eine Gewichtskraftverteilung von 60% auf der lateralen Klaue und 40% auf der medialen Klaue auf (Bruderer, 2015). Die Resultate von Schwarzmann et al. (2007) widersprachen ebenfalls denen von Huth et al. (2004, 2005). Bei Kälbern bestanden bereits signifikante Grössenunterschiede zwischen den medialen und der lateralen Klauen der Hintergliedmasse. Die Sohlenlänge der medialen Klaue der Hintergliedmasse war mit 54.7 mm signifikant kürzer als die Sohlenlänge der lateralen Klaue mit 56 mm. Ebenfalls war die Ballenhöhe der medialen Klaue, die Sohlenfläche und Sohlenbreite der medialen Klaue geringer als die der lateralen. Die Dorsalwand des medialen Klauenbeins war aber länger als die des lateralen Klauenbeins. Somit wurde es für möglich gehalten, dass der bei den Phalangen I und II bei den Kälbern bestehende Längenunterschied durch die höhere Phalanx drei in einem gewissen Mass ausgeglichen wurde (Schwarzmann et al., 2007). Dies stand mit den Resultaten von Muggli et al. (2011) im Einklang. Dort wurde bei zwei von drei Längenmassen an den Zehen bei Kälbern ein signifikanter Längenunterschied zwischen der medialen und der lateralen Zehe der Hintergliedmasse festgestellt (Muggli et al., 2011).

Starke Rassenunterschiede hinsichtlich der Klauenmasse waren erst im Färsenalter und noch nicht im Kälberalter sichtbar. Signifikant unterschiedlich zwischen dem deutschem Braunvieh, Angler Rotvieh und dem deutschem Holstein waren die Trachtenhöhe und die Trachtenlänge bei allen Gliedmassen.

Im Kälberalter waren diese Unterschiede bereits angedeutet, aber noch nicht signifikant unterschiedlich (Huth et al., 2004, 2005).

4.5. Genetik und Lahmheit

In verschiedenen Studien wurde nach Korrelationen zwischen genetisch bedingten Fundament- und Körpermerkmalen sowie Lahmheit gesucht (Chapinal et al., 2013; Onyiro and Brotherstone, 2008; van der Waaij et al., 2005; Van Dorp et al., 2004). Die Heritabilität für Klauenläsionen an den Hintergliedmassen war höher als die Heritabilität für Klauenläsionen an den Vordergliedmassen und für infektiöse Klauenerkrankungen höher als für mechanische Hornläsionen (Chapinal et al., 2013; van der Waaij et al., 2005). Die genetische Korrelation zwischen Gliedmassenstellung und Klauenläsionen wurde als niedrig bis moderat eingeschätzt (Chapinal et al., 2013). Bei der genetischen und phänotypischen Korrelation von Gliedmassenstellungen mit Klauenerkrankungen bestand eine höhere Heritabilität (Onyiro and Brotherstone, 2008; van der Waaij et al., 2005). Ein lahmheitsfreier Gang war stark mit einem, nach linearen Beschrieb, gesunden Fundament assoziiert (Onyiro and Brotherstone, 2008; Van Dorp et al., 2004). Die Stellung der Hintergliedmassen, die Rumpfweite und die Fusswinkelung hatten einen Zusammenhang mit klinischer Lahmheit. Ein kleiner Winkel zwischen dorsaler Klauenwand und Boden, Kuhhessigkeit, Säbelbeinigkeit oder ein breiter Rumpf korrelierten mit einer erhöhten Lahmheitshäufigkeit (Boettcher et al., 1998; Chapinal et al., 2013). Es konnte eine positive genetische Korrelation zwischen Körpertiefe, kräftigem Körperbau und Lahmheitshäufigkeit nachgewiesen werden (Boettcher et al., 1998). Kühe mit einer kuhhessigen Stellung an den Hintergliedmassen sollten genetisch prädisponiert für Lahmheit sein (Boettcher et al., 1998; Chapinal et al., 2013). In gewissen Fällen sollte diese kuhhessige Stellung eine Reaktion auf einen schmerzhaften Prozess in der lateralen Klaue sein, und in anderen Fällen wurde angenommen, dass diese Fehlstellung zu schmerzhaften Prozessen führte (Capon et al., 2008). Kühe mit einem tiefen Body Condition Score (BCS) hatten häufiger eine kuhhessige Gliedmassenstellung und zusätzlich ein erhöhtes Risiko von Sohlenblutungen an der lateralen Klaue. Die Autoren vermuteten einen Zusammenhang der kuhhessigen Gliedmassenstellung und einem schmerzhaften Prozess in den Klauen. Die Tiere verloren demnach sekundär an Körpergewicht (Capon et al., 2008). Ein tiefer BCS sowie auch Lahmheit waren möglicherweise Indikatoren für eine erhöhte Empfänglichkeit für Organerkrankungen mit metabolischen Auswirkungen, wie zum Beispiel Pansenazidose. Tiere mit einer negativen Energiebilanz hatten einen tieferen BCS und waren anfälliger für Klauenrehe (Boettcher et al., 1998; van der Waaij et al., 2005). Bei der kuhhessigen Stellung wurde vermutet, dass trotz Verlagerung eines Teils des Körpergewichts auf die mediale Klaue der grössere Anteil immer noch von der lateralen Klaue getragen wurde (Capon et al., 2008; Toussaint Raven, 1998).

Klinische Lahmheit korrelierte auch mit einem geringeren Fesselgelenkwinkel (Boettcher et al., 1998). Speziell korrelierten der Fusswinkel und die Häufigkeit der eitrigen hohlen Wand (van der Waaij et al., 2005). Dabei war jedoch nicht ganz klar, wie diese Korrelation zustande kam, weil für den Fusswinkel vorgegebene optimale Werte von 45° (Anonym, 2005) vorhanden waren (van der Waaij et al., 2005). Nach Nuss und Paulus (2006) betrug der Winkel der dorsalen Klauenwand zur Sohle an gesunden Klauenpräparaten von Hinterbeinen von Kühen etwa 50° (Nuss and Paulus, 2006). Stiere, welche Klauen mit steiler Dorsalwand und gerade Hintergliedmassen vererbten, hatten weniger Töchter, die eine Lahmheit aufwiesen. Bei Kühen konnte eine phänotypische Korrelation von Bewegungsaktivität und Sprunggelenkwinkel festgestellt werden: Kühe mit steilen Sprunggelenken wiesen eine höhere Bewegungsaktivität auf (Onyiro and Brotherstone, 2008; Van Dorp et al., 2004). Dieses direkte oder auch indirekte Potential schien für die züchterische Selektion vielversprechend, jedoch waren noch viele der Faktoren für ein gehäuftes Auftreten von Lahmheit, genetische wie auch umweltbedingte, unbekannt (Boettcher et al., 1998). Hinsichtlich der genetischen Korrelation zwischen Gliedmassenstellung und Klauenerkrankungen in der ersten oder den darauf folgenden Laktationen wurde kein Unterschied gefunden (van der Waaij et al., 2005). So spielte der Zeitraum zwischen der linearen Beschreibung und der Kontrolle der Klauengesundheit keine Rolle, die Korrelation blieb unverändert (van der Waaij et al., 2005). Es gab je nach Zeitpunkt der linearen Beschreibung deutliche Unterschiede bei der Prävalenz der Gliedmassenfehlstellung. 81% der Hintergliedmassen von 122 Färsen zeigten nach Capion et al. (2008) eine kuhhessige Stellung. Dabei wurden aber bereits Färsen mit einer Außenrotation der Klauen ohne Innenrotation des Kalkaneus dazugerechnet, was wahrscheinlich eine Erklärung für die hohe Prozentzahl war. Den Autoren war nicht bekannt, ob diese Fehlstellung angeboren war, oder ob sie sich im Zeitraum zwischen der Geburt und der ersten Beurteilung entwickelt hatte. Die Fehlstellung ging während der ersten Laktation bei einigen Tieren in eine korrekte Stellung über (Capion et al., 2008). Bereits Andersen et al. (1991) stellten bei vier bis zehn Monaten alten Jungbullen kuhhessige Gliedmassenstellungen mit einer Prävalenz von 18% fest. Ein abnormaler Sprunggelenkwinkel konnte bei 17% der Jungbullen festgestellt werden (Andersen et al., 1991).

4.6. Druck- Kraft- und Flächenmessungen an Klauen

In den Jahren 1971 und 1986 wurden Ergebnisse von Versuchen publiziert, die Gewichtsverteilung und die Gewichtskraft, die auf Klauen wirkten, zu messen (Ossent et al., 1987; Toussaint Raven, 1971). Die mediale Klaue der Hintergliedmassen trug bei 1.5-jährigen, trächtigen Rindern mehr Gewichtskraft als die laterale Klaue. Zwischen der rechten und der linken Hintergliedmasse war kein signifikanter Unterschied nachweisbar (Ossent et al., 1987). Mit zunehmendem Alter der Tiere konnte ein Anstieg der Gewichtskraft auf der lateralen Klaue der Hintergliedmasse beobachtet werden, sodass bei 2.5-jährigen, nicht trächtigen Rindern 57% der Gewichtskraft einer Gliedmasse auf der lateralen Klaue

lastete (Ossent et al., 1987). Nach anderen Untersuchungen (Alsleben et al., 2003; Huth et al., 2004, 2005) verschob sich die Gewichtskraft an den Hintergliedmassen erst etwa ab dem Alter von 12 Monaten von der medialen auf die laterale Klaue. Die Gewichtskraft an den Hintergliedmassen lag mit dem Lebensalter von zwei Monaten zu 72% auf der medialen Klaue. Mit zwölf Monaten lasteten dann 43% der gesamten Gewichtskraft auf der lateralen Klaue und im 24. Lebensmonat trug die laterale Klaue mit 54% den grösseren Anteil (Alsleben et al., 2003; Huth et al., 2004, 2005). Der mittlere Druck war im Alter zwischen zwei und zwölf Monaten auf der medialen Klaue der Hintergliedmasse grösser (23.2-31.6 N/cm² mediale Klaue, 16.6-18.7 N/cm² laterale Klaue) als auf der lateralen, war aber dann im Zeitraum von zwölf bis 24 Monaten beinahe ausgeglichen (23.8 -28.6 N/cm²) auf die Klauen verteilt (Huth et al., 2004). Es wurde die Vermutung geäussert, dass dieser Anstieg des mittleren Drucks, zusammen mit mangelnder Anpassungsfähigkeit an die Zunahme der Anzahl von hohen Drücken, die entscheidende Faktoren für die Entstehung von Klauenläsionen darstellten. Die Gewichtsverteilung auf den Klauen war stark alters- und körpergewichtsabhängig (Alsleben et al., 2003). Bruderer (2015) fand jedoch schon bei Rindern im Alter von 12 Monaten eine übermässige Belastung (61%) der lateralen Klaue der Hintergliedmassen (Bruderer, 2015). Somit wurden widersprüchliche Daten über die Entwicklung der Klauenbelastung beim Jungrind vorgelegt.

Mair (1989) vermass Auftrittsfläche, das Gewicht in Newton und den Maximaldruck in Newton pro cm² an der rechten Vordergliedmasse bei fünf Kühen. Parallel zu den Messungen wurde die Stellung der jeweiligen Gliedmasse fotografisch festgehalten (Mair, 1988). Das verwendete Messsystem zeigte jedoch Artefakte, die durch Bewegung des Tieres zustande gekommen waren. Auffallend war, dass sich im Verlauf der Untersuchungen die Gewichtskraft an der Gliedmasse bis zu 8% erhöhte. Das wies nach Ansicht der Autoren darauf hin, dass die Kühe zu Beginn des Versuchs die zu messende Gliedmasse vorsichtig belasteten. Die Messplatte selber war während des Versuchs für die Tiere sichtbar, was eventuell einen Einfluss auf die Belastung der zu messenden Gliedmasse hatte. Trotzdem wiesen die Daten eine gute Reproduzierbarkeit auf. Die rechte Vordergliedmasse trug demnach 16.6% des Körpergewichts und dabei nahm die mediale Klaue einen Anteil von 53% der gesamten Gliedmassengewichtskraft auf. Diese 16.6% des Körpergewichts waren aber mit Vorbehalt anzusehen, denn es wurde festgestellt, dass bereits eine leichte Kopfbewegung des Versuchstieres eine Gewichtskraftzu- oder -abnahme von 10% auf der gemessenen Vordergliedmasse auslöste (Mair, 1989). Mit dem von Mair entwickelten Messsystem wurden neben den Klauen der rechten Vordergliedmasse auch die Klauen der linken Hintergliedmasse untersucht (Spielmann, 1990). Die laterale Klaue der Hintergliedmasse war nach manuellem Ausmessen von Dorsalwandlänge, Trachtenwandlänge und Trachtenwandhöhe grösser als die mediale Klaue, jedoch war der Unterschied nicht signifikant (Spielmann, 1990). Die Gewichtskraftverteilung zwischen medialer und lateraler Klaue der Hintergliedmasse war ungleich, denn der Anteil für die laterale Klaue betrug 59.6%. Der durchschnittliche mittlere Druck betrug nach Spielmann (1990) 15.1 N/cm² für ein Klauenpaar der Hintergliedmasse. Der durchschnittliche mittlere Druck der lateralen Klaue (15.9 N/cm²) war trotz grösserer Fussungsfläche höher als bei

der medialen Klaue (14.0 N/cm^2) (Spielmann, 1990). Der Druckschwerpunkt lag bei der Vordergliedmasse etwas medial und bei der Hintergliedmasse etwas lateral der Medianen. Die Druckmaxima waren bei den Hintergliedmassen an der Klauenspitze der lateralen Klaue zu finden (Spielmann, 1990). Nach Bruderer (2015) lag signifikant mehr Gewicht auf den Ballenbereichen als auf den Sohlenspitzenzonen (Bruderer, 2015). Weiterhin waren die maximalen Drücke nach funktioneller Klauenpflege an Vorder- und Hintergliedmassen vermehrt im Zentrum des Ballenbereichs lokalisiert (Bruderer, 2015). Nach van der Tol et al. (2002) lag auf der lateralen Klaue der Hintergliedmasse der höchste Druck abaxial an der weitesten Stelle der Klauen, bei der medialen Klaue eher in Richtung der Klauenspitze ($17.0\text{-}54.0 \text{ N/cm}^2$) (van der Tol et al., 2002) Dabei betraf aber die laterale Klaue eine höhere Druckbelastung als die mediale (Bruderer, 2015; van der Tol et al., 2002).

Der maximale und der mittlere Druck, der auf die Klauen wirkte, wurde von der Bodenbeschaffenheit beeinflusst (Bruderer, 2015; Telezhenko et al., 2008). Beim Vergleich zweier verschiedener Gummimatten konnte ein signifikanter Druckunterschied nachgewiesen werden (Bruderer, 2015). Eine Gummimatte mit genoppter Unterseite produzierte signifikant höhere Druckmaxima auf die Klauen, da sich die maximalen Kräfte durch die Noppen auf kleine Flächen konzentrierten. Die Klauenabdrücke waren aber bei der genoppten Gummimatte grösser als auf einer Standfläche ohne Gummimatte. Dies konnte durch die Weichheit und Verformbarkeit der Gummimatte erklärt werden. Der Klauenabdruck wurde durch diese Eigenschaften ausgedehnt und die mittleren Drücke in Abhängigkeit von der Klauenfläche gesenkt (Bruderer, 2015). Die kompakte Gummimatte ohne Noppen liess den Klauenabdruck der Kühe nicht signifikant grösser werden (Bruderer, 2015), der maximale Druck jedoch wurde signifikant reduziert. Der mittlere Druck auf die Kontaktfläche der lateralen Klaue der Hintergliedmasse betrug laut Telezhenko et al. (2008) 32.0 N/cm^2 auf die Ballenfläche und 33.7 N/cm^2 auf den Tragrand. Im Vergleich wurden bei Kühen auf Gummimatten 57.9 N/cm^2 auf die Ballenfläche und 60.5 N/cm^2 auf den Tragrand der lateralen Klaue gemessen (Telezhenko et al., 2008) Im Vergleich dazu betrug nach Bruderer (2015) der mittlere Druck auf die Ballenzone der lateralen Klaue der Hintergliedmasse ohne Gummimatte 40.0 N/cm^2 , mit genoppter Gummimatte 11.9 N/cm^2 und mit kompakter Gummimatte ohne Noppen 38.3 N/cm^2 (Bruderer, 2015). Grundsätzlich wurde aber durch unterschiedliche Stallböden das Missverhältnis zwischen medialer und lateraler Klaue der Hintergliedmasse nicht verändert (Bruderer, 2015; Telezhenko et al., 2008).

Ein rauer Untergrund übte einen höheren Druck auf die Kontaktfläche der Klaue aus als ein glatter Untergrund (Franck and De Belie, 2006). Bei Untergrund mit deutlich sichtbaren Sandaggregaten hatte sich die Kontaktfläche im Vergleich zu weniger rauem Untergrund verringert. So sank die Kontaktfläche von 2013 mm^2 bei leicht aufgerautem Boden auf 948 mm^2 bei stark aufgerautem Boden (Franck and De Belie, 2006). Die unregelmässige Oberfläche des Bodens liess weniger Kontaktfläche zu, da die Klaue nur mit den hervorstehenden Aggregaten Kontakt aufnahm (Franck and De Belie, 2006). Die Kontaktfläche zwischen Klaue und Untergrund vergrösserte sich mit dem Erhöhen der Gewichts-

kraft, gleichzeitig vergrößerte sich aber auch der Druck auf die Klaue. Die Kontaktfläche nahm proportional zur Druckzunahme weniger zu. Dieser erhöhte Druck auf die Klauen schädigte eventuell das Klauenhorn (Franck and De Belie, 2006). Bei der entsprechenden Untersuchung wurde nicht berücksichtigt, dass ein rauer Stallboden abrasiv auf das Horn wirkte und die Kontaktfläche von Klaue zum Untergrund vergrößert wurde. Der punktuelle Bodenkontakt blieb aber erhalten (Telezhenko et al., 2008). Durch die Abnutzung des Horns wurde die gewichtstragende Aufgabe des stärksten Teil der Klaue, dem Tragrand, reduziert (Telezhenko et al., 2008). Asphaltboden kürzte durch die vermehrte Abnutzung die Länge der Dorsalwand und der Fusswinkel wurde steiler. Das Hornwachstum erhöhte sich kompensatorisch mit 5.12 und 5.83 mm/Monat für die laterale und mediale Klaue (Telezhenko et al., 2009). Die Disproportion zwischen der lateralen und der medialen Klaue war in allen Stallsystemen signifikant, aber zwischen den Stallsystemen konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden (Telezhenko et al., 2009). Bei frisch aufgestellten Tieren mit gepflegten Klauen hatte die Sohle eine konkave Form. Nach vier Monaten war die Sohlenfläche bei allen Kühen konvex, jedoch war bei den Kühen, die auf Asphalt aufgestellt waren, die Sohlendicke geringer als bei der Gruppe, die auf einer Gummimatte aufgestellt waren (Telezhenko et al., 2009). Der Tragrand der Klaue wurde somit in einem gewissen Mass entlastet, da die Sohle Gewicht aufnahm. Durch den Kontakt der Sohle mit dem Untergrund kam es aber leicht zu Überbelastungen im Sohlenbereich, das heisst zu Sohlenblutungen und zu Schädigung der Lederhaut (Telezhenko et al., 2009; Tranter and Morris, 1992). Durch abrasiven Untergrund wurde das Hornwachstum speziell gefördert, aber die Sohlenfläche verlor schnell ihre konkave Form und wurde nach vier Monaten sogar konvex. Es kam sogar vor, dass durch den starken Abrieb bei abrasivem Stallboden kein Horn mehr für eine Korrektur durch funktionelle Klauenpflege übrig blieb (Telezhenko et al., 2009). Die optimale Lösung schien in der richtigen Mischung aus Gummimatte und Asphaltboden zu liegen. Dabei genügte bereits kurzer, aber täglicher Kontakt mit einem abrasiven Boden, damit eine gute Verteilung des Gesamtdruckes erreicht, aber ein zu starkes Verlagern des Druckes auf die Sohlenfläche zu verhindert wurde (Telezhenko et al., 2008).

4.7. Kraft- und Druckmessungen vor und nach funktioneller Klauenpflege

Eine Vordergliedmasse trug nach van der Tol et al. (2004) 31.1% des Körpergewichts, eine Hintergliedmasse 24.3%. Da die Messung nicht an beiden Hinterbeinen gleichzeitig durchgeführt wurde, ergab die Summe der Prozentzahlen nicht 100% sondern 110.8% (van der Tol et al., 2004). Die Gewichtsverteilung auf die Gliedmassen war im Gegensatz zur Belastung auf den Klauen nach der funktionellen Klauenpflege nicht signifikant verändert (van der Tol et al., 2004). Innerhalb des Klauenpaares der Hintergliedmasse übernahm die laterale Klaue im ungepflegten Zustand je nach Untersuchung 68% (Gerwing, 2003) bis 80% (van der Tol et al., 2004) der Gewichtskraft. Durch die funktionelle Klauenpflege konnte die Gewichtskraft zu 30% auf die mediale und 70% auf die laterale Klaue verla-

gert werden (van der Tol et al., 2004). Gerwing (2003) erreichte mit der Klauenpflege bei einigen Tieren eine Gewichtskraftverteilung von 50% auf der lateralen Klaue der Hintergliedmasse und 50% auf der medialen Klaue (Gerwing, 2003). Bereits zwei Wochen nach der Klauenpflege war jedoch der Anteil der Gewichtskraft der lateralen Klauen bei 30% der Kühe wieder auf 60% oder mehr angestiegen (Gerwing, 2003). Das Verhältnis der gewichtstragenden Flächen der medialen zur lateralen Klaue der Hintergliedmasse betrug vor der Klauenpflege 37% zu 63% (Kehler and Gerwing, 2004). Nach der funktionellen Klauenpflege nahm die gewichtstragende Fläche der Hintergliedmassen signifikant zu, das Verhältnis der Flächen blieb jedoch bei 40% zu 60%. Die Fläche nahm nach van der Tol et al. (2004) durch die Klauenpflege von 27.5 cm² auf 40.0 cm² (+45%) signifikant zu (van der Tol et al., 2004). Das Maximum an Fläche war 14 Tage nach Klauenpflege erreicht, wobei sie bei Kehler und Gerwing (2004) nur um 12.9% der Ausgangsfläche gestiegen war (Kehler and Gerwing, 2004). Die Vergrößerung der Kontaktfläche war bis 14 Wochen nach erfolgter Klauenpflege signifikant (Kehler and Gerwing, 2004).

Der durchschnittliche Druck, der vor der Klauenpflege auf die Klauen der Hintergliedmassen wirkte, betrug etwa 50 N/cm² (0.35 N/cm² pro kg) (Gerwing, 2003; van der Tol et al., 2004). Die laterale Klaue der Hintergliedmasse erfuhr dabei einen durchschnittlichen Druck von 31.3 N/cm², die mediale Klaue einen Druck von 24 N/cm² (Gerwing, 2003). Nach der Klauenpflege sank der durchschnittliche Druck auf die laterale Klaue auf etwa 22 N/cm², stieg aber an der medialen Klaue von 24.6 N/cm² auf 33.7 N/cm² an (Gerwing, 2003). Direkt nach der Klauenpflege war also eine starke Abnahme des mittleren Drucks (-30%) an der lateralen Klaue nachzuweisen (Gerwing, 2003; van der Tol et al., 2004). Bis zur Woche 6 nach Klauenpflege war der mittlere Druck auf der lateralen Klaue konstant tief. Danach war ein signifikanter Unterschied zur Druckbelastung direkt nach der Klauenpflege zu messen (Gerwing, 2003). Der maximale Druck auf den Hintergliedmassen wurde durch die Klauenpflege zwar gesenkt, jedoch waren diese Resultate nicht signifikant und der Druck blieb mit 0.6 N/cm² pro kg doppelt so hoch wie der mittlere Druck (van der Tol et al., 2004). Die Klauenpflege konnte die maximalen Drücke auf den Klauen nicht verringern (van der Tol et al., 2004). Aus mehreren Untersuchungen ging hervor, dass die höchsten Drücke mit bis zu 110.8 N/cm² (Bruderer, 2015) häufig im Ballenbereich der lateralen Klaue zu finden waren (Bruderer, 2015; Gerwing, 2003; Mair, 1988). Dagegen standen die Messungen von van der Tol et al. (2002), welche die Druckmaxima an der Hintergliedmasse in kranialen Sohlenbereich feststellten (van der Tol et al., 2002). Der Ballenbereich der lateralen Klaue der Hintergliedmasse übernahm einen Anteil von 36% bis sogar zu 40% der Gewichtskraft einer Gliedmasse. Die mediale Klaue der Hintergliedmasse übernahm lediglich 16% (Gerwing, 2003). Nach Carvalho (2005) übernahm der Ballenbereich der lateralen Klaue der Hintergliedmasse 23.08% und der Ballenbereich der medialen Klaue 16.63% des Gesamtdruckes (Carvalho et al., 2005). Durch die funktionelle Klauenpflege konnte die Belastung der lateralen Klaue auf 21% reduziert werden, dafür übernahm der Ballenbereich der medialen Klaue nun 25% der Gewichtskraft (Gerwing, 2003). Das Gewicht auf dem Ballenbereich der medialen Klaue nahm nach der Klauenpflege um 9%, auf der Klau-

enspitze der medialen Klaue um 6% zu (Gerwing, 2003). Die typische Stelle für das Rusterholzsche Sohlengeschwür war auf der lateralen Klaue, welche eindeutig stärker belastet war als die entsprechende Stelle an der medialen Klaue (Bruderer, 2015; Carvalho et al., 2005). Dafür war der Klauenspitzenbereich der medialen Klaue höherer Belastung ausgesetzt (Carvalho et al., 2005). Eine Klauenpflege, die den Tragrand kürzte und somit das auf dem Tragrand lastende Gewicht auf den weichen Teil der Sohle verlagerte, wurde als schädlich angesehen, da es in der Folge zu einer Überbelastung des Sohlenbereichs und somit zu Sohlengeschwüren kommen konnte (Carvalho et al., 2005). Bei allen Kühen der Untersuchung war, nach Gerwing (2003), 26 Wochen nach der Klauenpflege kein Unterschied in der Gewichts- und Flächenverteilung im Vergleich zu den Ausgangswerten mehr festzustellen (Gerwing, 2003). Die Hälfte der Kühe erreichte nach 4 Monaten den gleichen Status wie unmittelbar vor der Klauenpflege (Gerwing, 2003).

4.8. Gewichtsverlagerung

Toussaint Raven (1998) ging davon aus, dass im physiologischen Zustand alle vier Klauen der Hintergliedmassen den gleichen Anteil an Körpergewicht trugen. Die Gewichtsverteilung auf die Klauen war jedoch vom Gesundheits- und Pflegezustand der Klauen abhängig (Toussaint Raven, 1998). Zudem stellte er die Hypothese auf, dass die Hintergliedmassen von Kühen scharnierartig am Becken befestigt seien und dies damit weder eine vollkommen elastische noch eine vollkommen starre Verbindung darstellte. Somit war eine Folge davon, dass bei Verlagerung des Körpergewichts auf eine Körperseite die laterale Klaue der belasteten Gliedmasse stark überbelastet wurde und die beiden Innenklauen gleich viel Gewicht aufnahmen. Diese Theorie wurde von vielen Autoren übernommen (Fiedler et al., 2004; Lischer et al., 2000). Die von Toussaint Raven (1971) errechnete Gewichtsverteilung bei Gewichtsverlagerung betrug 16% des Gesamtgewichts der Hintergliedmasse auf der lateralen Klaue der entlasteten Gliedmasse, 24% auf der medialen Klaue der entlasteten Gliedmasse, 36% auf der lateralen Klaue der belasteten Gliedmasse und ebenfalls 24% des Gesamtgewichts der Hintergliedmasse auf der medialen Klaue der belasteten Gliedmasse (Toussaint Raven, 1998). Für die Vordergliedmassen sollte diese Theorie nicht gelten, da die Aufhängung der Gliedmassen am Körper nicht scharnierartig war (Toussaint Raven, 1998). Die bei einer Verschiebung des Beckens resultierenden Verschiebungen der Gewichtskräfte an den Klauen wurden bisher nicht bestimmt.

4.9. Anwendungsmöglichkeiten der Druck- und Kraftmessungen

Aufgrund der immer grösser und industriell werdenden milcherzeugenden Betriebe wuchs die Nachfrage nach Systemen, welche Tiere mit einer Lahmheit automatisch erkennen konnten (Liu et al.,

2011; Pastell et al., 2010). Mittels einer Kraftmessplatte, die im Stall eingebaut war, war eine Asymmetrie in der Gewichtsverteilung auf den Klauen festzustellen. Um auszuschliessen, dass es sich um die physiologische und bekannter Weise asymmetrische Gewichtsverteilung handelte, wurden jeweils die Gewichtsverteilungen auf beiden Hintergliedmassen miteinander verglichen (Pastell et al., 2010). Kühe mit einer Lahmheit belasteten auf einer Kraftmessplatte die betroffene Gliedmasse weniger und somit wurden die maximale Kraftbelastung, die durchschnittliche Kraftbelastung, die Standphase, der vertikale Impuls und die Kraftkurve erniedrigt (Liu et al., 2011; Rajkondawar et al., 2006). Kühe mit einer leichtgradigen Lahmheit verlängerten die Zeit, in der sie die Gliedmasse belasteten; auf diese Weise erniedrigten sie die sowohl die Gesamtgewichtskraft als auch die maximale Kraft. Sobald aber die Lahmheit stärker wurde, genügte dieser Effekt der Gliedmassenentlastung nicht mehr und die Kühe verkürzten die Dauer der Gewichtsaufnahme (Liu et al., 2011). Aufgrund von Schrittverlängerung und -verkürzung konnten gesunde Kühe von Kühen mit einer leichten und einer schweren Lahmheit unterschieden werden. Speziell korrelierten diese Schrittasymmetrien und eine unphysiologische Gewichtsverteilung an den Hintergliedmassen mit dem Vorhandensein eines Sohlengeschwürs. Tiere mit Sohlenblutungen oder Dermatitis digitalis zeigten diese Schrittasymmetrien und die Veränderungen in der Gewichtsverteilung weniger ausgeprägt, sodass kein signifikanter Unterschied zu den gesunden Kühen festgestellt werden konnte (Pastell et al., 2010). Die Varianz in der Gewichtsverteilung auf die Klauen war bei den gesunden Kühen gross und das erschwerte die Erkennung von Tieren mit einer leichtgradigen Lahmheit. Die Akkumulierung von verschiedenen Messungen derselben Kuh erhöhte die Erkennungsquote.

Bei Kühen ohne sichtbare Lahmheit konnte eine Asymmetrie der Gewichtsverteilung im Stehen gemessen und bei der darauffolgenden Klauenpflege ein Sohlengeschwür diagnostiziert werden (Pastell et al., 2010). Andererseits konnte bei einigen Kühen mit einer offensichtlichen Lahmheit keine Asymmetrie in der Gewichtsverteilung im Stehen gemessen werden. Die Autoren vermuteten, dass Tiere mit einer funktionellen Lahmheit, angefüllten Gelenken, Nerven- oder Bandläsionen oder auch mit Muskelerkrankungen im Stehen keine Umverteilung des Körpergewichts anzeigten (Pastell et al., 2010). Ein weiterer erschwerender Punkt war die Gewichtsverlagerung von der lateralen Klaue auf die mediale, weil die vertikalen Kräfte sich kaum veränderten und die Tiere mit einem eindimensional-vertikalen Messsystem nicht erkannt werden konnten (Liu et al., 2011). Das Messsystem für die Untersuchung von Liu et al. (2011) und Rajkondawar et al. (2006) wurde möglichst kostengünstig entwickelt, damit es für Landwirte erschwinglich sein konnte. Ein System, welches die vertikalen und die longitudinalen Kräfte mass, wäre zwar teurer gewesen und somit für Landwirte kaum erschwinglich, hätte aber vermutlich auch zuverlässigere Daten geliefert (Liu et al., 2011; Rajkondawar et al., 2006). Die Auswertung der Daten wurde schwierig, sobald mehrere Läsionen oder mehrere Gliedmassen mit Läsionen vorhanden waren (Rajkondawar et al., 2006).

5. Material und Methoden

In der hier vorgelegten Arbeit wurde bei laktierenden Kühen unterschiedlicher Rassen der Einfluss der Stellung der Hintergliedmassen auf die dortige Klauenbelastung gemessen. Bei allen Kühen wurde die Klauenbelastung vor und nach der Klauenpflege gemessen. Weiterhin wurde bei allen Kühen die Druck- und Kraftumverteilung bei manuell induzierter Verschiebung von einem auf das andere Hinterbein gemessen. Der Versuch wurde vom kantonalen Veterinäramt als Schweregrad 0 eingestuft und unter der Nummer eTV26833, ZH144/15 genehmigt.

5.1. Untersuchungsaufbau

Die Kühe wurden anhand der Gliedmassenstellungen ausgewählt, bis das Ziel von 12 Kühen mit normaler Stellung der Hintergliedmassen, 12 Kühe mit steiler Stellung der Sprunggelenke, 12 Kühe mit kuhhessiger Stellung der Hintergliedmassen und drei Kühe mit fassbeiniger Stellung der Hintergliedmasse erreicht war (Tab. 1). Die Gliedmassenstellung wurde bei kuhhessiger und fassbeiniger Stellung nach den Kriterien der Schweizerischen Rinderzüchter festgelegt. Beurteilt wurden die Tiere von der Seite und von hinten, und zwar sowohl im Stehen als auch in Bewegung. Mittels eines 20 cm langen digitalen Winkelmessgeräts (Technocraft®, Allchemet AG, Bäretswil, Schweiz) wurden der dorsale Sprunggelenkwinkel und der dorsale Fesselgelenkwinkel bestimmt. Bei der Messung des dorsalen Sprunggelenkwinkels wurde der eine Schenkel des Winkelmessgeräts auf die dorsale Kontur der Tibia (M. fibularis tertius), der andere Schenkel dorsal auf den Metatarsus gelegt (Abb. 1). Für die Messung des Fesselgelenkwinkels wurde einerseits die dorsale Kontur des Metatarsus sowie andererseits der Kronbeinregion bis hin zum Kronsaum als Anhaltspunkt für das Auflegen des Winkelmessgeräts genommen. Jede Winkelmessung wurde dreimal wiederholt und dann der Mittelwert errechnet.

Tab. 1 Kriterien zur Einteilung der Kühe in Gruppen mit unterschiedlichen Gliedmassenstellungen.

Merkmal	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4
	Normal (n = 12)	Steile Sprunggelenke (n = 12)	Kuhhessig (n = 12)	Fassbeinig (n = 3)
Alter in Monaten (Mittelwert, gerundet)	54	47	52	32
Sprunggelenkwinkel	<168°	>170°	<168°	<168°
Beurteilung von Hinten	Kalkaneus und Zwischenklauenspaltparallel oder Zwischenklauenspaltparallelnach lateral rotiert	Kalkaneus und Zwischenklauenspaltparallelnach lateral rotiert	Kalkaneus nach medial rotiert, Zwischenklauenspaltparallelnach lateral rotiert (Valgusstellung)	Kalkaneus weiter lateral als der Zwischenklauenspaltparallelnach lateral rotiert (Varusstellung)

Kühe mit einem Sprunggelenkwinkel von $<168^\circ$ und einer parallelen Gliedmassenstellung wurden als der gewünschten Norm entsprechend – als «normal» – beurteilt. Die Messwerte für die Kraft, die Klauenabdruckfläche und die Drücke vor und nach der Klauenpflege wurden innerhalb der Gruppen verglichen. Die Werte der drei Gruppen mit abweichenden Gliedmassenstellungen wurden jeweils mit den Werten der Gruppe der normalen Stellung vor sowie auch nach Klauenpflege verglichen.



Abb. 1 Gemessener dorsale Sprunggelenks- und Fesselgelenkwinkel, schematisch eingezeichnet.

Eine Kuh wurde aus den Auswertungen der Fragestellung „Belastungsunterschiede der Klauen bei verschiedenen Gliedmassenstellung“ ausgeschlossen, da sie sowohl steile Sprunggelenke wie auch eine kuhhessige Stellung der Hintergliedmassen aufwies. Von 40 Kühen wurden somit nur 39 Kühe in eine Gruppe der Gliedmassenstellung eingeteilt. Für die Fragestellung der Gewichtsverschiebung wurden alle 40 Kühe verwendet, ohne die Gliedmassenstellung zu berücksichtigen.

5.2. Tiere

Insgesamt wurden die Werte der Klauenbelastung bei 40 laktierenden Kühe gemessen. Es wurden 15 Braunvieh-, 20 Holstein-Friesian- und fünf Rotfleck-/Red-Holstein-Kühe mit einbezogen. Das Alter der Kühe betrug 50 Monate (Mittelwert, Min. 25 Monate, Max. 86 Monate). Die Körpermasse wurde

auf einer Brückenwaage gemessen und betrug 638 kg (Mittelwert, Min. 470 kg, Max. 920 kg). Bei den Kühen handelte es sich um Patientinnen des Departements für Nutztiere Zürich sowie um Tiere aus dem Stigenhof in Oberembrach (Aussenstation des Tierspitals Zürich). In den Herkunftsbetrieben waren 23 Kühe in Laufstallhaltung und 17 Kühe in Anbindehaltung aufgestellt. Die Kühe befanden sich in der ersten bis fünften Laktation und wiesen bei der Aufnahme in den Versuch keinerlei Krankheiten auf, die mit dem Bewegungsapparat in Verbindung standen. Der Allgemeinzustand war bei allen Kühen ungestört, die rektale Körpertemperatur betrug stets $<39.0^{\circ}\text{C}$ und die Lahmheitsuntersuchung ergab keine Hinweise auf krankhafte Befunde. Die Klauen der Kühe durften keine Läsionen ausser leichtgradige Dermatitis digitalis und Ballenhornfäule aufweisen. Diese Veränderungen durften aber zu keiner Lahmheit führen. Der Zeitraum zwischen der letzten Klauenpflege und der Messung konnte nur bei 34 Kühen vorberichtlich auf ein bis zwölf Monate bestimmt werden, weil die Klauen bei drei Kühen noch nie gepflegt worden waren und bei weiteren drei Kühen der Zeitpunkt der letzten Klauenpflege unbekannt war. Nichtsteroidale Antiphlogistika, die allenfalls wegen anderer Erkrankungen als solchen des Bewegungsapparats verabreicht worden waren, mussten zum Zeitpunkt der Messung mindestens drei Tage abgesetzt sein. Während der Versuchsperiode waren die Kühe im Anbindestall des Tierspitals Zürichs aufgestellt und wurden zweimal täglich gemolken. Das Läger war mit einer 2.5 cm dicken Gummimatte bedeckt und zusätzlich wurde 10-15 cm tief Langstroh eingestreut. Gefüttert wurden die Kühe mit Heu, teilweise Grassilage, Kraftfutter und Mineralstoffen. Wasser war an den Selbsttränken zur freien Verfügung vorhanden. Die Besitzer der Kühe wurden in jedem Fall telefonisch kontaktiert, damit ein Einverständnis sowie auch Informationen über das Trächtigkeitsstadium, die letzte Klauenpflege, die Aufstallung und die Bodenbeschaffenheit im Betrieb eingeholt werden konnten. Weitere Informationen zum Tier und zur Laktationszahl wurden über die Tierdatenbank «A-gate Schweiz» beschafft.

5.3. Messsystem

Das Messsystem bestand aus der Kombination einer Kraft- mit einer Druckmessplatte. Die footscan®-Kraftmessplatte (Typ FP-9907-03-0007, AMTI, Watertown, USA), mass die Bodenreaktionskraft in X-, Y- und Z-Richtung. Die Platte war einen Meter lang, 42 cm breit, 18 cm hoch und insgesamt 75 kg schwer. Die Messplatte enthielt eine Dehnungsmessstreifentechnologie. Bereits geringe Umformungen der Dehnungstreifen führten zu einer Änderung des elektrischen Widerstandes. Mit der Änderung des elektrischen Widerstandes änderte sich der Spannungsausput und die Spannungsänderung war proportional zur einwirkenden Kraft. Auf der Z-Achse wurden mittels vier Sensoren die vertikalen Kräfte gemessen (vertikale Achse). Die Frequenz für die Z-Achse betrug 185 Hz und der Messbereich 0-10'000 Newton. Auf der Y-Achse wurden die Kräfte längs zur Kraftmessplatte (longitudinale Achse) von zwei Sensoren gemessen. Der Messbereich dieser Achse betrug 0-5000 Newton und die Frequenz

170 Hz. Die dritte und letzte Achse war die X-Achse, die die Kräfte in Richtung der Kraftmessplattenbreite (transversale Achse) mass. Diese Achse war mit einem Sensor ausgestattet, der einen Messbereich von 5000 Newton mit einer Messfrequenz von 160 Hz aufwies. Die gemessenen Kräfte wurden als F_x , F_y und F_z bezeichnet. Die Drehungen um die jeweilige Achse wurde als M-Wert gemessen, entsprechend gab es M_x -, M_y -, und M_z -Werte. Positive Drehmomente waren diejenigen, die von der Achse aus gesehen im Uhrzeigersinn drehten. Das Zentrum der Kraft (COP = Centre of Pressure) wurde mittels dem Wert M_x und M_y berechnet. Die Daten dieser sieben Sensoren wurden über die footscan®-3D-interface-Box verarbeitet und diese war über einen USB-2.0-Anschluss mit einem Laptop verbunden.

Die hi-end-footscan®-Druckmessplatte (RsScan International, Olen, Belgien) war über die 3D-interface-Box mit der Kraftmessplatte und dem Laptop verbunden. Die Druckmessplatte war 106.8 x 41.8 cm gross und 1.2 cm dick, wobei sich die aktiven Sensoren auf einer Fläche von 97.5 x 32.5 cm befanden. Insgesamt enthielt die Druckmessplatte 8192 Sensoren, wobei ein Sensor 0.762 x 0.508 cm gross war. Dies entsprach einer Belegung von 2.6 Sensoren pro cm^2 . Die Sensoren konnten statischen sowie auch dynamischen Druck mit einer Frequenz von bis zu 500 Hz messen; der Messbereich betrug 0-200 N/cm^2 . Eine Messung dauerte fünf Sekunden. Die Druckmessplatte war mit einer resistiven Sensortechnologie ausgestattet und bestand aus zwei Schichten. Die eine Schicht bestand aus einer Leiterplatte (printed circuit board, PCB), in der die resistiven Sensoren eingegossen waren. Die Gegenseite war ein elektrisch leitendes Textil (Pressure Sensitive Layer, PSL), das bei Belastung der Druckmessplatte auf die Leiterplatte gedrückt wurde und dadurch einen elektrischen Widerstand auslöste. Die Änderung des elektrischen Widerstandes wurde von den Sensoren gemessen.

Bei jeder Inbetriebnahme des Messsystems erfolgte eine Kalibrierung. Mittels Eingabe der Kalibrierungswerte oder der Matrix der X-, Y- und Z-Achse und der Zuteilung der sieben Kanäle für die drei Achsen konnte die Kraftmessplatte kalibriert werden. Die Parameter für die sieben Kanäle waren unterschiedlich, Kanäle eins bis vier waren für die Z-Achse und konnten nur positive Signale empfangen. Kanal fünf und sechs empfing sowohl positive als auch negative Signale und war für die X-Achse vorgesehen. Die Y-Achse wurde auf Kanal sieben empfangen und konnte ebenfalls positive und negative Werte verarbeiten. Während des Kalibrierungsvorganges durfte die Kraftmessplatte nicht belastet werden, jedoch waren die Druckmessplatte sowie beide Gummimatten, welche zum Schutz des Messsystems dienten, bereits auf der Kraftmessplatte platziert. Dies entsprach der Ausgangssituation für die Messungen. Bei der Kalibrierung wurden die Werte der Matrix als Nullwert eingestellt und bei Belastung der Platte wurden die gemessenen Werte mit jenen der Matrix multipliziert.

Zur Kontrolle des Messsystems wurde nach 10-20 Messungen der eigene Fussabdruck gemessen und die Daten an den Schweizer Vertreter der Firma RsScan International gesendet. Die aktuellen Werte wurden mit den Ausgangswerten, die bei der Installation des Messsystems gesammelt wurden, vergli-

chen. So konnte frühzeitig eine Abnahme der Sensibilität des Messsystems, speziell der Druckmessplatte, festgestellt werden.

5.4. Messstand

Der Messstand bestand aus einem 108 x 240 cm grossen Metallrahmen, der auf vier in der Höhe verstellbaren Stützen stand. Die Ebenheit des Standes wurde bei jedem Aufstellen mit einer Wasserwaage geprüft und mittels der verstellbaren Stützen allenfalls Korrekturen durchgeführt. In dem Rahmen standen rechteckige, tischförmige Aluminium-Module, die die gleichen Abmessungen wie die Kraftmessplatte aufwiesen, damit letztere für andere Zwecke allenfalls einfacher versetzt werden konnte. Zwischen dem ersten und dritten Aluminiummodul, im Abstand von 45 cm vom einen Ende des Messstandes entfernt, war die Kraftmessplatte fest montiert. Auf allen Aluminium-Modulen war eine Gitterroboberfläche vorhanden, auf denen zudem eine 3 cm dicke, solide Gummimatte befestigt war. Die Druck- und Kraftmessplatte waren so in die Aussparung zwischen den Aluminium-Modulen eingelassen, dass sie auf einem Niveau mit dieser soliden, trittfesten Gummimatte waren. Zum Schutz der Druckmessplatte wurde diese mit einer zwei Millimeter dünnen rutschfesten Gummimatte bedeckt und zum Schluss wurde auf die gesamte Standfläche des Messstands eine Gummimatte von 5 mm Dicke gelegt. Auf diese Weise waren die sensible Elektronik und die Messgeräte vor Kot, Harn und mechanischer Beschädigung geschützt. An den Messstand anschliessend wurden mehrere Holzelemente angebaut, sodass jeweils eine Rampe entstand, auf der die Kühe auf einer leicht schrägen Ebene in den Messstand hinein und wieder hinaus gehen konnten.

5.5. Versuchsablauf

Die Kühe wurden während der Versuchsperiode täglich einer kurzen Allgemeinuntersuchung unterzogen. Am Versuchstag eins wurden die Kühe mit dem Hochdruckreiniger gewaschen und anschliessend fotografiert. Fotografisch festgehalten wurden die Hintergliedmassen von lateral sowie von kaudal. Aufgenommen wurden die Fotos mit einer Canon EOS 600D im RAW-Format, Brennweite von 50mm, Blende f/8.0-11.0, ISO 400, Belichtung 1/100-125 sec und mit drei Meter Abstand zum Kalkaneus. Der Abstand wurde mittels Laser-Entfernungsmesser (Bosch® Zamo Typ 0603672400, Robert Bosch GmbH, Stuttgart, Deutschland) gemessen. Zusätzlich war eine Wasserwaage im Blitzschuh der Kamera montiert und die Kamera auf einem Stativ befestigt. Damit die Bearbeitung der Bilder in Photoshop CS5 vereinfacht wurde, wurden die Kühe für die Fotoaufnahmen immer vor dieselbe, einfarbige Wand gestellt.

Anschliessend wurden die Kühe auf den Messstand geführt und die erste Messung im Stehen durchgeführt. Diese wurde zwei- bis dreimal wiederholt und darauf geachtet, dass die Gewichtsverteilung auf den beiden Hintergliedmassen möglichst gleichmässig war. Weiterhin wurde die zweite Messung, das Verschieben des Körperschwerpunktes durchgeführt. Hierfür wurde die Kuh auf der Messplatte durch dosierten manuellen Druck auf das Hüftgelenk auf eine Seite geschoben, damit sie das Gewicht auf die kontralaterale Gliedmasse verlagerte. Dabei wurde nur gerade so viel Druck ausgeübt, dass sie gerade keine Gliedmasse anhub und danach zurück in die ursprüngliche Körperposition zurückkehrte. Wenn Kühe nicht in die Körperposition zurückkehrten, sondern mit dem Körperschwerpunkt in verlagerter Position verharrten, wurde die Messung verworfen. Auch wenn sie ein Bein anhoben, wurde die Messung wiederholt. Für die Auswertung der Messungen bei Gewichtsverschiebung wurden alle Kühe miteinbezogen (n=40). Jede Kuh wurde einmal vor und einmal nach Klauenpflege zur Verschiebung des Körpergewichts gebracht. Dies ergab schliesslich 80 Messungen.

Wenn möglich, wurde nach dem ersten Messdurchgang die Klauenpflege durchgeführt. Zu diesem Zweck wurden die Kühe entweder in den Klauenstand gestellt oder auf den Operationstisch abgelegt. War ein Ablegen auf den Operationstisch notwendig, wurden die Kühe 2-5 Minuten im Voraus mit Xylazin® in der Dosierung von 0.02 mg/kg i.v. in die Vena caudalis mediana sediert. Die funktionelle Klauenpflege wurde nach den Prinzipien von Toussaint Raven (1998) durchgeführt. Mit der Klauenpflege war der erste Versuchstag abgeschlossen und die Kühe durften wieder in den Stall. Am Versuchstag zwei, meist der darauffolgende Tag, wurden die Kühe erneut mit dem Hochdruckreiniger gereinigt und die Fotoaufnahmen und Messungen entsprechend dem ersten Versuchstag durchgeführt.

5.6. Auswertung der Daten

Die Messwerte wurden über die Interface-Box auf das Programm footscan balance 7.7 Second Generation® (RsScan International, Olen, Belgien) übertragen. Der Klauenabdruck, der Schwerpunkt sowie die Kraft beider Gliedmassen wurden direkt bildlich dargestellt (siehe Abb. 2).

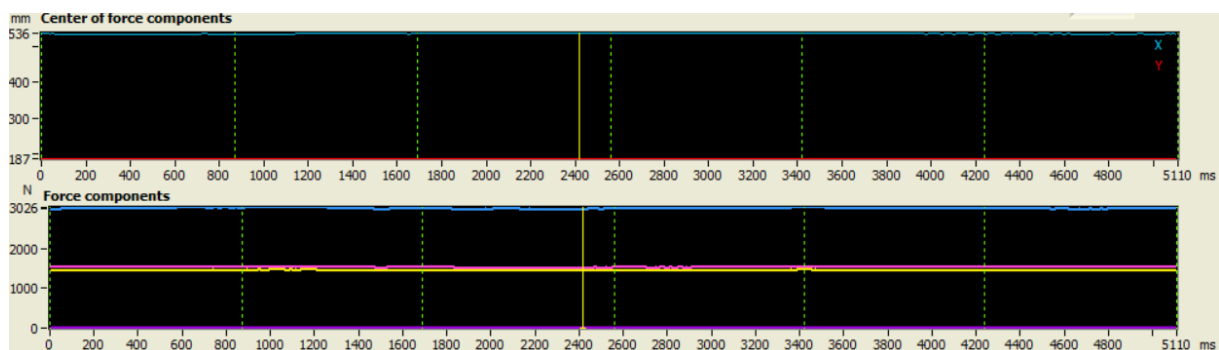
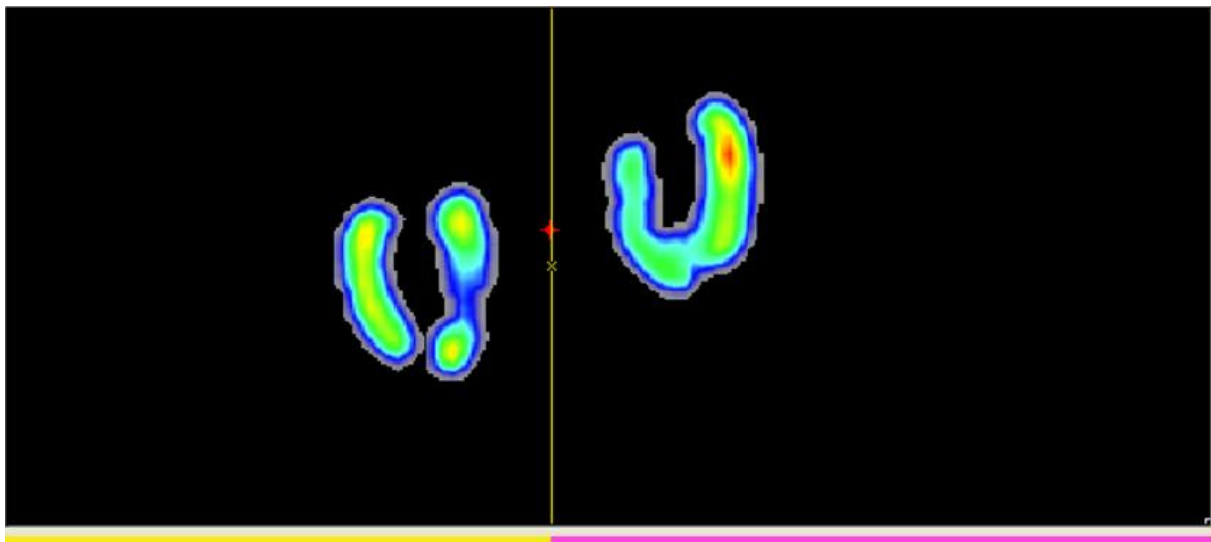


Abb. 2: Darstellung des Klauenabdruckes im Programm footscan balance 7.7. sowie die dazugehörige Zeitachse (fünf Sekunden) mit der Kraftverteilung (gelbe und rosa Linien bei „Force components“) beider Gliedmassen.

Zur weiteren Verarbeitung und zur Sichtung der absoluten Newton-Werte wurden die drei Messwiederholungen beurteilt und diejenige Messung mit der gleichmässigen Kraftverteilung (möglichst 50 % : 50 %) zwischen der rechten und linken Hintergliedmasse wurde weiterverwendet. Von der ausgewählten Messung wurden alle 500 Frames aus dem Programm footscan balance 7.7 Second Generation® ins Programm Microsoft Excel® (Microsoft Corporation, Redmond Washington, USA) exportiert. In Excel wurden die 500 Frames mit den absoluten Newton Werte der Kraftmessung dargestellt (Abb. 3).

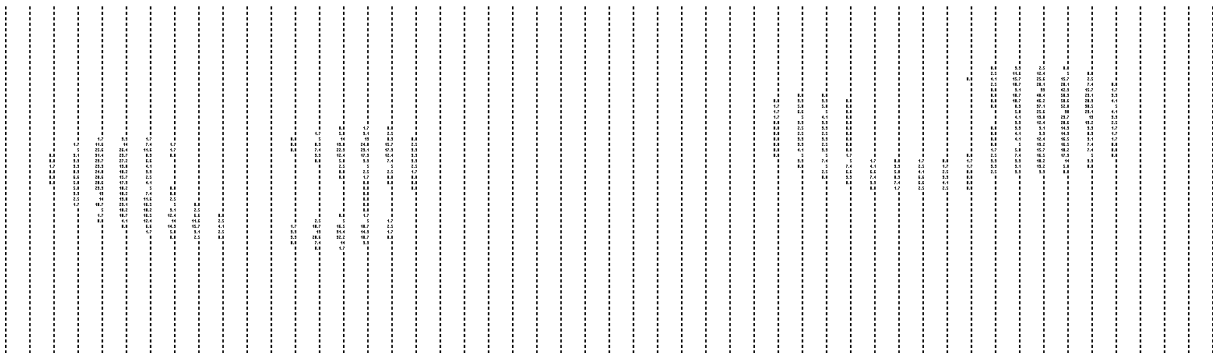


Abb. 3: Darstellung der Messwerte eines von 500 Frames in Microsoft Excel®.

Für die Auswertung der Kühe mit unterschiedlichen Gliedmassenstellungen wurde mittels eines Makros eines der 500 Frames der Messung zufällig ausgewählt und in eine eigens programmierte Auswertungstabelle eingefügt. Für die Auswertung der Gewichtsverschiebung wurden der erste Frame der Messung (Ausgangsposition) sowie der Frame mit der maximalen Verschiebung der Gewichtskraft (Extremposition) ausgewertet.

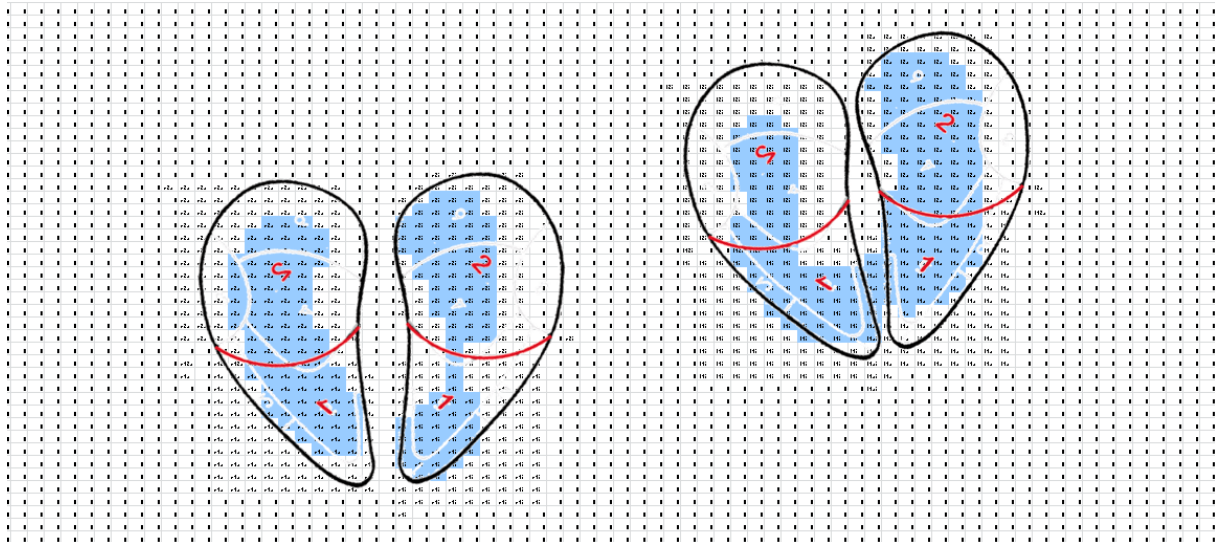


Abb. 4: Einteilung der Messwerte in die unterschiedlichen Zonen.

Digitale, veränderbare Schablonen wurden über die Messwerte im Excel-Blatt gelegt und allenfalls an die Grösse der Abdrücke angepasst. Mit Hilfe dieser Schablonen konnten die Messwerte der Sohlenabdrücke neben der Zuteilung zur lateralen und medialen Klaue zusätzlich in zwei Zonen eingeteilt werden. Durch die Schablonen wurden die Werte der rechten und linken Hintergliedmasse, der Ausen- und Innenklaue und den beiden Zonen zugeteilt (Abb. 4). Zone 1 kennzeichnete die belastete Fläche im Bereich der Sohlenspitze und Zone 2 diejenige nahe dem Ballen. Zusätzlich angezeigt wurden im eigens angefertigten Auswertungsprogramm nun nicht nur die Kraft in Newton, sondern auch die jeweilige Auftrittsfläche in mm², der Druck in Kilopascal (kPa) sowie der Maximaldruck in Kilopascal. Ein Pascal entspricht dem Druck, der ein Newton auf die Fläche von einem Quadratmeter ausübt. Ein Kilopascal entspricht einem Newton pro Quadratzentimeter (1 kPa = 1 N/cm²).

LINKES BEIN																							
Kraft F [N]												Fläche A [mm ²]											
total						ausser						total						ausser					
F _L	F _{La}	F _{Lla}	F _{L2a}	F _{Li}	F _{Li}	F _{L2i}	A _L	A _L kor	A _{La}	A _{La} kor	A _{Lla}	A _{Lla} kor	A _{Li}	A _{Li} kor	A _{L2i}	A _{L2i} kor	A _{Li}	A _{Li} kor	A _{L2i}	A _{L2i} kor	P _L	P _L kor	P _{La}
1544	1301	289	1013	243	195	88	7626	7626	4432	4432	1723	1723	2710	2710	3194	3194	1742	1742	1452	1452	203	203	294
																					168	168	374
																					374	374	76
																					76	76	89
																					89	89	60
																					60	60	1524
																					1524	1524	1524

Abb. 5: Zugeteilte Messwerte, bereit für den Export aus der Auswertungstabelle.

Sobald die Messwerte den Zonen zugeteilt waren, wurden sie mit Hilfe einer dafür adaptierten Software in einem Balken angezeigt und waren somit bereit zum weiteren Export und für die Berechnungen (Abb. 5).

5.7. Statistik

Die erhobenen Daten wurden in einer Tabelle im Programm Microsoft Excel® (Microsoft Corporation, Redmond, Washington, USA) zusammengetragen. Dabei wurde je eine separate Mastertabelle für die Fragestellung der unterschiedlichen Klauenbelastung bei verschiedenen Gliedmassenstellungen und eine für die Fragestellung der Gewichtsverschiebung angefertigt. Die Mastertabellen wurden ins Programm SPSS (IBM® SPSS® Statistics, Version 23, IBM, Armonk, USA) importiert. Alle gemessenen Werte wurden auf ihre Normalverteilung mittels *Kolmogorov-Smirnov-Test* geprüft. Mittelwert, Standardabweichung, Minimum und Maximum aller Daten wurde berechnet. Für die Kraftmessungen wurden zusätzlich Prozentwerte errechnet, da die absoluten Zahlen in Newton abhängig von der Körpermasse der Kühe waren. Aus den Mittelwerten der Messungen in Newton wurde ein weiterer Prozentwert errechnet, der zu Vergleichen herangezogen wurde. Weiterhin wurden die Mittelwerte der Messdaten durch den *gepaarten t-Test* oder bei fehlender der Normalverteilung durch den *Wilcoxon-Test* verglichen. Zum Vergleich zwischen den Gruppen wurde der *Mann-Whitney-U-Test* verwendet. Mit den Messwerten der Kühe mit fassbeiniger Stellung der Hintergliedmassen wurde aufgrund der geringen Tieranzahl (n=3) keine vergleichenden Berechnungen durchgeführt.

Die Werte der Kühe mit normaler Gliedmassenstellung wurden mit den Werten der Kühe mit kuhhesiger, steiler oder fassbeiniger Gliedmassenstellung (letztere nur deskriptiv) verglichen und auf Signifikanz geprüft. Das Signifikanzniveau wurde auf $p < 0.05$ festgesetzt. Für die Auswertung einzelner Gruppen und für den Vergleich zwischen den Gruppen wurden alle Werte der rechten und der linken Hintergliedmasse zusammengekommen («gepoolt») und anschliessend der Mittelwert daraus berechnet («gemittelt»). Anders wurde bei der Fragestellung der Gewichtsverschiebung verfahren: Für diese Fragestellung wurden die rechte und linke Hintergliedmasse aller 80 Messungen einzeln in die Auswertung miteinbezogen. Dabei wurden die Messwerte des ersten Frames (Ausgangsposition) mit den Messwerten bei maximaler Gewichtsverschiebung verglichen. Dazu wurde der *gepaarte t-Test* oder der *Wilcoxon-Test* verwendet. Damit der Effekt der Klauenpflege auf die Verschiebung des Körpergewichts ermittelt werden konnte, wurden die 40 Messungen vor Klauenpflege mit den 40 Messungen nach Klauenpflege durch eine *einfaktorielle Varianzanalyse* verglichen.

6. Ergebnisse

6.1. Gliedmassenstellungen

6.1.1. Kühe mit normaler Gliedmassenstellung (n = 12)

Die mittlere Körpermasse der 12 Kühe mit normaler Gliedmassenstellung betrug 633 kg \pm 61, mit einem Minimum von 530 kg und einem Maximum von 730 kg.

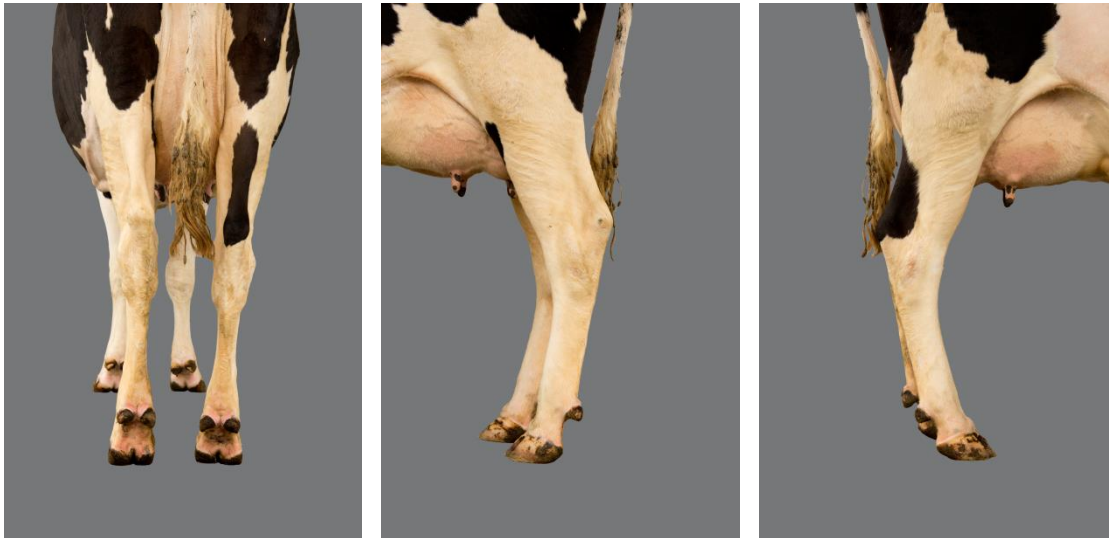


Abb 6: Kuh Nr. 19 mit normaler Gliedmassenstellung vor der funktionellen Klauenpflege.

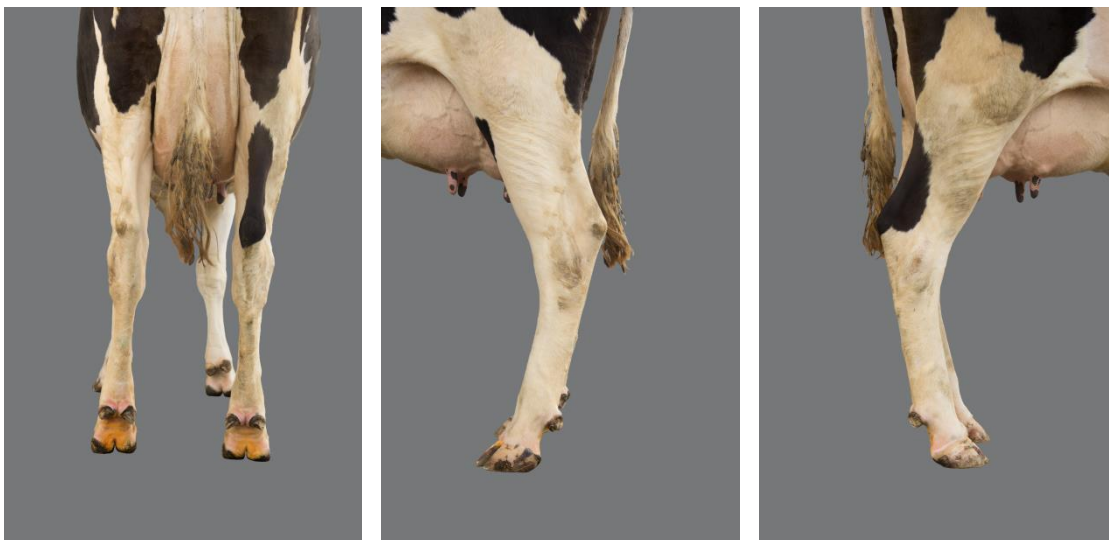


Abb 7: Kuh Nr. 19 mit normaler Gliedmassenstellung nach der funktionellen Klauenpflege.

6.1.1.1. Gelenkwinkel

Der Mittelwert des Winkels an der Dorsalseite des Sprunggelenks betrug vor der Klauenpflege an der linken und rechten Hintergliedmasse $163^\circ \pm 3$ (Mittelwert \pm Standardabweichung). Durch die Klauenpflege vergrößerte sich der dorsale Sprunggelenkwinkel an der linken Hintergliedmasse knapp nicht signifi-

kant um ein Grad ($164^{\circ} \pm 3$) und an der rechten Hintergliedmasse signifikant um zwei Grad ($165^{\circ} \pm 3$); die Sprunggelenke waren also steiler gestellt (Abb. 6 und Abb. 7).

Der dorsale Fesselgelenkwinkel veränderte sich durch die Klauenpflege nicht signifikant. Er betrug an der linken Hintergliedmasse $165^{\circ} \pm 5$ vor der Klauenpflege und $164^{\circ} \pm 4$ nach der Klauenpflege. An der rechten Hintergliedmasse betrug der dorsale Fesselgelenkwinkel vor der Klauenpflege $164^{\circ} \pm 3$ und nach der Klauenpflege ebenfalls $164^{\circ} \pm 5$.

6.1.1.2. Gewichtskräfte

Der Mittelwert der Gesamtkraft auf den Hintergliedmassen betrug vor der Klauenpflege $2831 \text{ N} \pm 298$ mit einem Minimum von 2306 N und einem Maximum von 3268 N . Davon waren 54% ($1526 \text{ N} \pm 201$) der Kraft auf der linken Hintergliedmasse und 46% ($1305 \text{ N} \pm 329$) auf der rechten Hintergliedmasse lokalisiert. Nach der Klauenpflege reduzierte sich die mittlere Gewichtskraft auf $2756 \text{ N} \pm 246$. Dies machte eine Differenz von etwa 8 Kilogramm Körpermasse zwischen der Messung vor der Klauenpflege und derjenigen nach der Klauenpflege aus.

Für die weitere statistische Auswertung wurden die Werte der linken und rechten Hintergliedmasse zusammengelegt («gepoolt») und anschliessend gemittelt. Die Gewichtskraft einer Hintergliedmasse betrug so $1416 \text{ N} \pm 149$. Davon fielen 68% der Kraft auf die Aussenklaue und 32% auf die Innenklaue (Tab. 2). Die auf die Aussenklaue und auf die Innenklaue wirkenden Kräfte waren signifikant unterschiedlich.

Tab. 2: Gewichtskräfte (Mittelwert \pm Standardabweichung) an der Hintergliedmasse vor Klauenpflege. ** = signifikanter Unterschied zur ipsilateralen Klaue oder gleichen Zone der ipsilateralen Klaue.

Hintergliedmasse			
1416 N \pm 149			
Aussenklaue		Innenklaue	
960 N \pm 208 **		456 N \pm 162	
68%		32%	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
242 N \pm 111	718 N \pm 155 **	195 N \pm 106	261 N \pm 170
17%	51%	14%	18%

Die Sohlenabdrücke einer Klaue wurden, wie in Material und Methode beschrieben, in jeweils zwei Zonen eingeteilt. Zone 1 entsprach dem Bereich der Klauenspitze («Sohlenzone») und Zone 2 dem belasteten Ballenbereich («Ballenzone»). Auf der Ballenzone der Aussenklaue allein lagen vor der Klauenpflege 51% der Gesamtkräfte der Hintergliedmassen (Tab. 2). Die Ballenzone der Innenklaue wurde signifikant weniger, mit nur 18% der Gesamtkraft belastet. Im Bereich der Sohlenzone war die Vertei-

lung zwischen Aussen- und Innenklaue nicht signifikant unterschiedlich, dort trug die Aussenklaue 17% der Kraft und die der Innenklaue 14%.

Tab. 3: Gewichtskräfte (Mittelwert \pm Standardabweichung) an der Hintergliedmasse nach Klauenpflege, **= signifikanter Unterschied zur ipsilateralen Klaue oder gleichen Zone der ipsilateralen Klaue.

Hintergliedmasse			
1378 N \pm 123			
Aussenklaue		Innenklaue	
878 N \pm 193 **		500 N \pm 161	
64%		36%	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
265 N \pm 102	613 N \pm 215 **	214 N \pm 115	286 N \pm 139
19%	45%	16%	20%

Die Kraftverteilung vor der Klauenpflege im Vergleich mit den Werten nach der Klauenpflege war nicht signifikant unterschiedlich. Jedoch nahm der Anteil an der Gewichtskraft auf der Aussenklaue von 68% auf 64% ab (auf 878 N \pm 19), war aber immer noch signifikant höher als auf der Innenklaue. Die Innenklaue wurde nach der Klauenpflege mit 500 N \pm 161 und 36% der Gewichtskraft tendenziell mehr belastet (Tab. 3).

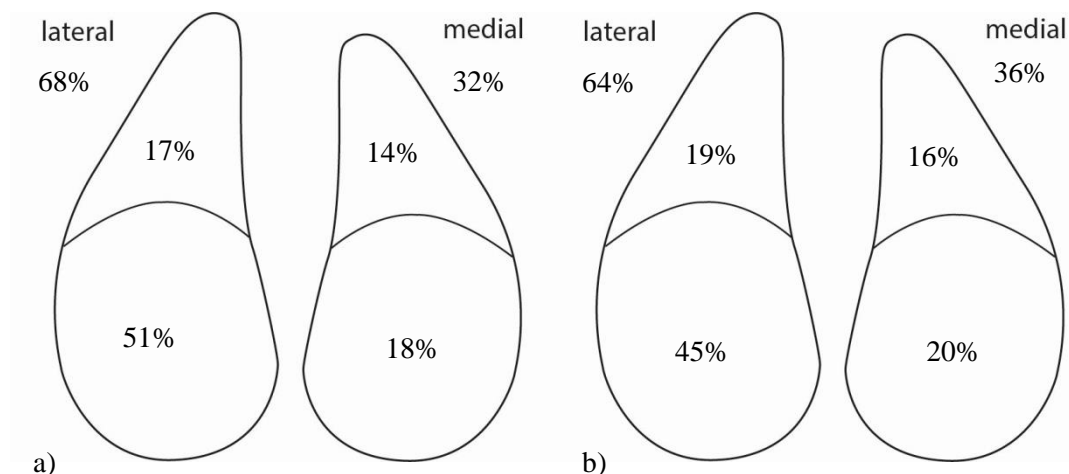


Abb. 8: Prozentuale Verteilung der Gewichtskraft auf die Klauen sowie die Sohlen- und Ballenzonen der Aussen- und Innenklauen einer Gliedmasse. a) vor Klauenpflege b) nach Klauenpflege.

Die Ballenzone der Aussenklaue, die vor der Klauenpflege mit etwas mehr als der Hälfte der Gewichtskraft der Gliedmasse belastet wurde, konnte durch die Klauenpflege etwas entlastet werden. Die Gewichtskraft betrug nur noch 613 N \pm 215 und somit 45% der Gewichtskraft; sie war weiterhin signifikant unterschiedlich zur Kraftbelastung der Ballenzone der Innenklaue. Die übrigen drei Klauenzonen wurden nach der Klauenpflege vermehrt belastet (Abb. 8).

6.1.1.3. Fläche der Sohlenabdrücke

Die gepoolte und gemittelte, durch die Sensoren registrierte Fussungsfläche einer Hintergliedmasse betrug bei Kühen mit normaler Stellung der Hintergliedmassen vor der Klauenpflege $8237 \text{ mm}^2 \pm 816$ wobei die Aussenklaue eine Fläche von $4898 \text{ mm}^2 \pm 364$ und die Innenklaue eine von $3339 \text{ mm}^2 \pm 538$ aufwiesen (Tab. 4).

Tab. 4: Registrierte Fussungsfläche (in mm^2) an der Hintergliedmasse vor Klauenpflege (Mittelwert \pm Standardabweichung). **= signifikanter Unterschied zur ipsilateralen Klaue oder gleichen Zone der ipsilateralen Klaue.

Hintergliedmasse			
$8237 \text{ mm}^2 \pm 816$			
Aussenklaue		Innenklaue	
$4898 \text{ mm}^2 \pm 364$ **		$3339 \text{ mm}^2 \pm 538$	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
$1941 \text{ mm}^2 \pm 199$ **	$2957 \text{ mm}^2 \pm 246$ **	$1511 \text{ mm}^2 \pm 268$	$1828 \text{ mm}^2 \pm 508$

Tab. 5: Registrierte Fussungsfläche (in mm^2) an der Hintergliedmasse nach Klauenpflege (Mittelwert \pm Standardabweichung). *= signifikanter Unterschied vor/nach Klauenpflege. **= signifikanter Unterschied zur ipsilateralen Klaue oder gleichen Zone der ipsilateralen Klaue.

Hintergliedmasse			
$8095 \text{ mm}^2 \pm 538$			
Aussenklaue		Innenklaue	
$4594 \text{ mm}^2 \pm 364$ */**		$3501 \text{ mm}^2 \pm 379$	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
$1918 \text{ mm}^2 \pm 129$ **	$2676 \text{ mm}^2 \pm 326$ */**	$1548 \text{ mm}^2 \pm 159$	$1953 \text{ mm}^2 \pm 320$

Durch die Klauenpflege verkleinerte sich die registrierte Auftrittsfläche der Aussenklaue signifikant auf $4594 \text{ mm}^2 \pm 364$. Ebenfalls durch die Klauenpflege signifikant verkleinert wurde der Bereich der Ballenzone der Aussenklaue (Tab 5). Weiterhin war die Fläche beider Zonen der Aussenklaue signifikant grösser als die entsprechende Fläche der Zonen der Innenklaue. Die Fläche der Innenklaue hatte sich sowohl insgesamt wie auch in der Sohlen- und der Ballenzone tendenziell vergrössert. Die Innenklaue wies jedoch immer noch eine signifikant kleinere Fläche als die Aussenklaue auf.

6.1.1.4. Mittlerer Druck

Wie in Material und Methoden beschrieben, wurden der mittlere sowie der maximale Druck pro Gliedmasse, Klaue und Zone registriert und berechnet.

Tab. 6: Mittlerer Druck (in kPa) an der Hintergliedmasse vor Klauenpflege (Mittelwert \pm Standardabweichung). **= signifikanter Unterschied zur ipsilateralen Klaue oder gleichen Zone der ipsilateralen Klaue.

Hintergliedmasse			
174 kPa \pm 24			
Aussenklaue		Innenklaue	
197 kPa \pm 40 **		138 kPa \pm 51	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
124 kPa \pm 59	242 kPa \pm 43 **	120 kPa \pm 57	137 kPa \pm 95

Der mittlere Druck an den Hintergliedmassen von Kühen mit normaler Gliedmassenstellung betrug vor Klauenpflege 174 kPa \pm 24. Der höchste mittlere Druck wurde in der Ballenzone der Aussenklaue gemessen (Tab. 6). Nur wenig unterschiedlich waren die mittleren Drücke im Bereich der Sohlenzone der Aussen- und Innenklaue sowie im Bereich der Ballenzone der Innenklaue. Insgesamt war der mittlere Druck auf der Aussenklaue im Vergleich mit dem mittleren Druck auf der Innenklaue signifikant höher.

Tab. 7: Mittlerer Druck (in kPa) an der Hintergliedmasse nach Klauenpflege (Mittelwert \pm Standardabweichung). **= signifikanter Unterschied zur ipsilateralen Klaue oder gleichen Zone der ipsilateralen Klaue.

Hintergliedmasse			
171 kPa \pm 17			
Aussenklaue		Innenklaue	
189 kPa \pm 35		143 kPa \pm 45	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
138 kPa \pm 53	222 kPa \pm 67 **	127 kPa \pm 75	143 kPa \pm 62

Durch die Klauenpflege wurde die Aussenklaue tendenziell entlastet. Der mittlere Druck sank und gleichzeitig stieg der mittlere Druck auf der Innenklaue tendenziell an (Tab. 7). Durch die Umverteilung des Druckes von der Aussen- zur Innenklaue näherten sich die Werte soweit an, dass sie im Gegensatz zu den Werten vor der Klauenpflege nicht mehr signifikant unterschiedlich waren. Der Ballenbereich der Aussenklaue wies auch nach der Klauenpflege noch den höchsten mittleren Druck auf und dieser war weiterhin signifikant höher als der Druck der Ballenzone der Innenklaue. Durch die Druckreduktion auf der Ballenzone der Aussenklaue kam es zu einer beinahe ausgeglichenen Erhöhung der Drücke auf den anderen Klauenzonen.

6.1.1.5. Maximaldruck

Der Maximaldruck war der höchste gemessene Druck auf der einzelnen Klaue oder Zone. Der gepoolte und gemittelte Maximaldruck der linken und rechten Hintergliedmasse bei Kühen mit normaler

Stellung der Hintergliedmassen betrug 1023 kPa \pm 220. Der Maximaldruck der Aussenklaue war mit 949 kPa \pm 204 signifikant höher als der Maximaldruck der Innenklaue (714 kPa \pm 334). Dieser hohe Maximaldruck der Aussenklaue war vorwiegend durch den sehr hohen Maximaldruck auf der Ballenzone bedingt (Tab. 8). Dieser Maximaldruck, der beinahe das Doppelte der anderen Klauenzonen betrug, war signifikant höher als der Maximaldruck der Ballenzone der Innenklaue.

Tab. 8: Maximaldruck (Mittelwert \pm Standardabweichung) an der Hintergliedmasse vor der Klauenpflege. **= signifikanter Unterschied zur ipsilateralen Klaue oder gleichen Zone der ipsilateralen Klaue.

Hintergliedmasse			
1023 kPa \pm 220			
Aussenklaue		Innenklaue	
949 kPa \pm 204 **		714 kPa \pm 334	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
477 kPa \pm 216	946 kPa \pm 206 **	498 kPa \pm 236	550 kPa \pm 382

Tab. 9: Maximaldruck (Mittelwert \pm Standardabweichung) an der Hintergliedmasse nach der Klauenpflege. **= signifikanter Unterschied zur ipsilateralen Klaue oder gleichen Zone der ipsilateralen Klaue.

Hintergliedmasse			
1088 kPa \pm 245			
Aussenklaue		Innenklaue	
970 kPa \pm 252 **		694 kPa \pm 240	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
542 kPa \pm 206	906 kPa \pm 303 **	489 kPa \pm 272	560 kPa \pm 255

Durch die Klauenpflege konnte keine Reduktion des Maximaldruckes auf der Aussenklaue erreicht werden. Der Maximaldruck stieg sogar von 949 kPa \pm 204 auf 970 kPa \pm 252 an und war somit weiterhin signifikant höher als der Maximaldruck der Innenklaue (Tab. 9). Eine leichte Reduktion des Maximaldruckes konnte auf der Ballenzone der Aussenklaue erreicht werden, dennoch blieb diese Klauenzone mit 906 kPa \pm 303 die Zone mit dem höchsten Maximaldruck.

6.1.2. Kühe mit steiler Stellung in den Sprunggelenken (n = 12)

Die mittlere Körpermasse der 12 Kühe mit steiler Stellung der Sprunggelenke betrug 662 kg \pm 89. Das Maximum betrug 920 kg, das Minimum 590 kg.

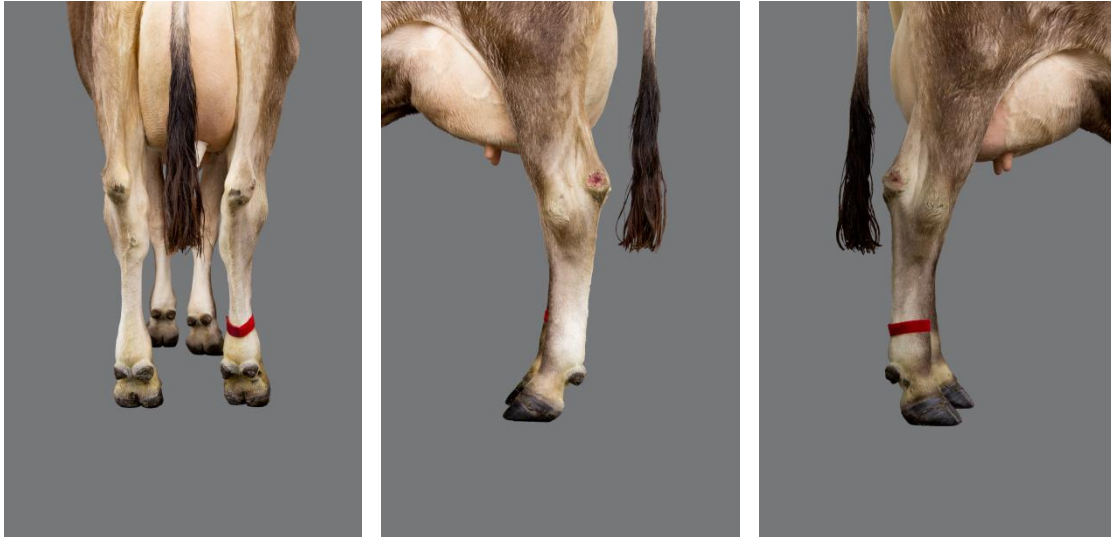


Abb. 9: Kuh Nr. 32 mit steiler Stellung in den Sprunggelenken vor Klauenpflege.

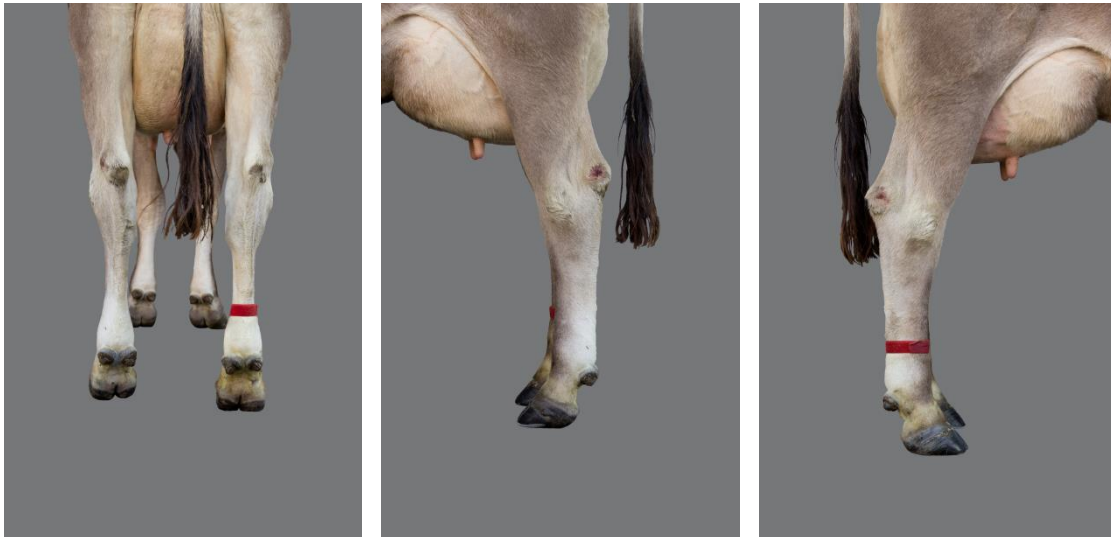


Abb. 10: Kuh Nr. 32 mit steiler Stellung in den Sprunggelenken nach Klauenpflege.

6.1.2.1. Gelenkwinkel

Der Mittelwert der Sprunggelenkwinkel der Kühe mit steilen Sprunggelenken betrug an der linken Hintergliedmasse vor der Klauenpflege $172^{\circ} \pm 0.8$ und an der rechten Hintergliedmasse $172^{\circ} \pm 2$. Das Minimum an der linken Hintergliedmasse betrug 170° , das Maximum 173° . An der rechten Hintergliedmasse betrug das Minimum 167° und das Maximum 174° . Nach der funktionellen Klauenpflege stieg der Mittelwert der Sprunggelenkwinkel der linken Hintergliedmasse signifikant auf $173^{\circ} \pm 1$ an, an der rechten Hintergliedmasse blieb er unverändert bei $172^{\circ} \pm 1$. Der maximale Sprunggelenkwinkel beider Hintergliedmassen betrug nach Klauenpflege 175° , der minimale 171° (Abb. 9 und Abb. 10). Der dorsal gemessene Fesselgelenkwinkel betrug an der linken Hintergliedmasse vor der Klauenpflege $162^{\circ} \pm 4$, an der rechten $160^{\circ} \pm 6$. Nach der Klauenpflege war der Fesselgelenkwinkel an den rechten Hinterbeinen tendenziell grösser mit $161^{\circ} \pm 4$, an den linken ergab sich kein Unterschied ($162^{\circ} \pm 4$).

6.1.2.2. Gewichtskräfte

Die Gesamtkraft auf den Hintergliedmassen betrug bei den Kühen mit steilen Sprunggelenken vor der Klauenpflege 3039 N \pm 403 und nach der Klauenpflege 2974 N \pm 362. Diese Gewichtskraftdifferenz von 65 N entspricht etwa 8 Kilogramm Körpermasse. Von der Gesamtkraft waren vor der Klauenpflege 48% auf der linken und 52% auf der rechten Hintergliedmasse lokalisiert. Nach der Klauenpflege war die Gewichtsverteilung ausgeglichen mit 50% auf der linken und 50% auf der rechten Hintergliedmasse. Nach dem Zusammenfassen («poolen») und Mitteln der Kräfte der rechten und linken Hintergliedmasse betrug die auf einer Hintergliedmasse lastende Kraft 1520 N \pm 201 (Tab. 10). Auf die Aussenklaue wirkte dabei die signifikant grössere Kraft als auf die Innenklaue ein. In Prozent entsprach dies 65% der Kraft auf der Aussenklaue und 35% auf der Innenklaue. Die Kraft auf die Sohlenzone der Aussen- und Innenklaue unterschied sich nicht signifikant, war aber an der Aussenklaue tendenziell etwas grösser. Die Kraft auf die Ballenzone unterschied sich jedoch zwischen der Aussen- und Innenklaue vor Klauenpflege signifikant (Abb. 11). Der Ballenbereich der Aussenklaue wies die höchste Gewichtskraft auf, sie betrug 48% der Gewichtskraft einer Gliedmasse. Der Ballenbereich der Innenklaue trug lediglich 22% der Gewichtskraft.

Tab. 10: Gewichtskräfte in Newton (Mittelwert \pm Standardabweichung) an der Hintergliedmasse vor Klauenpflege, **= signifikanter Unterschied zur ipsilateralen Klaue oder gleichen Zone der ipsilateralen Klaue.

Hintergliedmasse			
1520 N \pm 201			
Aussenklaue		Innenklaue	
986 N \pm 174 **		534 N \pm 195	
65%		35%	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
259 N \pm 117	727 N \pm 193 **	205 N \pm 83	329 N \pm 151
17%	48%	13%	22%

Tab. 11: Gewichtskräfte in Newton (Mittelwert \pm Standardabweichung) an der Hintergliedmasse nach Klauenpflege. *= signifikanter Unterschied vor/nach Klauenpflege, **= signifikanter Unterschied zur ipsilateralen Klaue oder gleichen Zone der ipsilateralen Klaue.

Hintergliedmasse			
1487 N \pm 181 *			
Aussenklaue		Innenklaue	
1044 N \pm 146 **		443 N \pm 230	
70%		30%	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
301 N \pm 94	743 N \pm 149 **	223 N \pm 133	220 N \pm 124 *
20%	50%	15%	15%

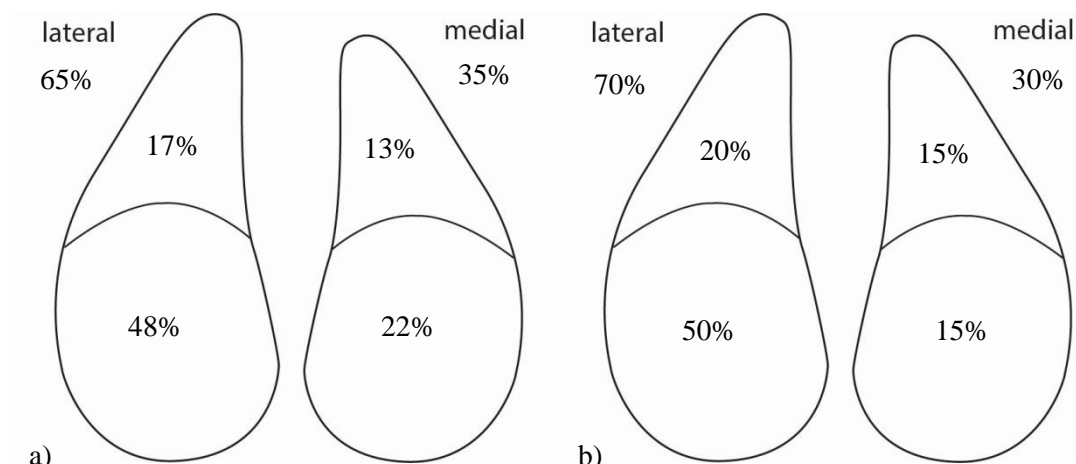


Abb. 11: Prozentuale Verteilung der Gewichtskräfte bei Kühen mit steiler Stellung der Sprunggelenke auf die Sohlen- und Ballenzonen der Aussen- und Innenklauen einer Hintergliedmasse. a) vor Klauenpflege b) nach Klauenpflege.

Nach funktioneller Klauenpflege (Tab. 11) betrug die Gesamtkraft einer Hintergliedmasse signifikant weniger als vor Klauenpflege. Die höchste Gewichtskraft war weiterhin im Ballenbereich der Aussenklaue lokalisiert. Die Gewichtskraft war dort tendenziell von $727 \text{ N} \pm 193$ auf $743 \text{ N} \pm 149$ gestiegen. Die Gewichtskraft auf dem Ballenbereich der Aussenklaue war, unverändert zu den Kraftverhältnissen vor der Klauenpflege, signifikant höher als die Gewichtskraft auf dem Ballenbereich der Innenklaue. Signifikant kleiner wurde die Kraft nach funktioneller Klauenpflege auf dem Ballenbereich der Innenklaue im Vergleich zur Kraft vor der Klauenpflege. Die Gewichtskraft übertrug sich nach der Klauenpflege tendenziell auf die Aussenklaue, die nach Klauenpflege 70% der Kraft trug. Nicht nur der Ballenbereich der Aussenklaue nahm vermehrt Gewichtskraft auf, auch der Klauenspitzenbereich der Aussenklaue wies nach der Klauenpflege höhere Werte auf. Die Kraft auf der Sohlenzone war von $259 \text{ N} \pm 117$ auf $301 \text{ N} \pm 94$ gestiegen. Somit war die auf die Aussenklaue einwirkende Gewichtskraft auch nach Klauenpflege signifikant höher als die auf der Innenklaue lastende (Tab. 11).

6.1.2.3. Fläche der Sohlenabdrücke

Die Auftrittsfläche einer Hintergliedmasse (gepoolte und gemittelte Werte der rechten und linken Hintergliedmasse) betrug bei Kühen mit steiler Stellung der Sprunggelenke vor der funktionellen Klauenpflege $8763 \text{ mm}^2 \pm 1997$ (Tab. 12).

Tab. 12: Registrierte Fussungsfläche (in mm²) an der Hintergliedmasse vor Klauenpflege (Mittelwert \pm Standardabweichung). **= signifikanter Unterschied zur ipsilateralen Klaue oder gleichen Zone der ipsilateralen Klaue.

Hintergliedmasse			
8763 mm ² \pm 1997			
Aussenklaue		Innenklaue	
5103 mm ² \pm 1060 **		3660 mm ² \pm 1005	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
1990 mm ² \pm 468 **	3113 mm ² \pm 675 **	1565 mm ² \pm 362	2095 mm ² \pm 707

Tab. 13: Registrierte Fussungsfläche (in mm²) an der Hintergliedmasse nach Klauenpflege (Mittelwert \pm Standardabweichung). *= signifikanter Unterschied vor/nach Klauenpflege, **= signifikanter Unterschied zur ipsilateralen Klaue oder gleichen Zone der ipsilateralen Klaue.

Hintergliedmasse			
8134 mm ² \pm 1348 *			
Aussenklaue		Innenklaue	
4827 mm ² \pm 786 **		3307 mm ² \pm 688	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
1943 mm ² \pm 374 **	2884 mm ² \pm 439 **	1565 mm ² \pm 367	1742 mm ² \pm 469 *

Durch die Klauenpflege nahm die Auftrittsfläche einer Hintergliedmasse bei Kühen mit steiler Stellung der Sprunggelenke signifikant auf 8134 mm² \pm 1348 ab (Tab. 13). Die Fläche der Aussenklaue verkleinerte sich tendenziell von 5103 mm² \pm 1060 auf 4827 mm² \pm 786, war aber vor und nach der Klauenpflege signifikant grösser als die Fläche der Innenklaue. Auch die Fläche der Innenklaue wurde verkleinert, dies aber ausschliesslich in der Ballenzone, die nach Klauenpflege eine signifikant kleinere Fläche aufwies. Die Ballenzone der Aussenklaue verkleinerte sich durch die Klauenpflege ebenfalls deutlich, aber nicht signifikant, wobei die Sohlenzone der Aussenklaue nur leicht verkleinert wurde. Beide Zonen blieben unverändert signifikant grösser als die entsprechenden Zonen der Innenklaue.

6.1.2.4. Mittlerer Druck

Vor der funktionellen Klauenpflege betrug der mittlere Druck auf einer Hintergliedmasse 179 kPa \pm 30 (Tab. 14). Der mittlere Druck auf der Aussenklaue war mit 199 kPa \pm 45 signifikant höher als auf der Innenklaue mit 146 kPa \pm 41. In der Ballenzone der Aussenklaue wurde der höchste mittlere Druck gemessen (239 kPa \pm 69). Dieser Druck war ebenfalls signifikant höher als der Druck in der Ballenzone der Innenklaue. Die Sohlenzone der Aussen- und Innenklaue wiesen einen mittleren Druck von 127 kPa \pm 44 respektive \pm 27 auf.

Tab. 14: Mittlerer Druck (in kPa) an der Hintergliedmasse vor Klauenpflege (Mittelwert \pm Standardabweichung). **= signifikanter Unterschied zur ipsilateralen Klaue oder gleichen Zone der ipsilateralen Klaue.

Hintergliedmasse			
179 kPa \pm 30			
Aussenklaue		Innenklaue	
199 kPa \pm 45 **		146 kPa \pm 41	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
127 kPa \pm 44	239 kPa \pm 69 **	127 kPa \pm 27	154 kPa \pm 67

Tab. 15: Mittlerer Druck (in kPa) an der Hintergliedmasse nach Klauenpflege (Mittelwert \pm Standardabweichung). **= signifikanter Unterschied zur ipsilateralen Klaue oder gleichen Zone der ipsilateralen Klaue.

Hintergliedmasse			
186 kPa \pm 23			
Aussenklaue		Innenklaue	
221 kPa \pm 47 **		127 kPa \pm 39	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
189 kPa \pm 56 **	261 kPa \pm 64 **	115 kPa \pm 52	116 kPa \pm 44

Bei Kühen mit steiler Stellung der Sprunggelenke wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den mittleren Drücken vor und nach der Klauenpflege gefunden. Der mittlere Druck der gepoolten Werte für eine Hintergliedmasse nahm leicht zu und betrug 186 kPa \pm 23. Eine Zunahme des mittleren Druckes war auch an der Aussenklaue (221 kPa \pm 47) und in der Sohlenzone der Aussenklaue (189 kPa \pm 56) zu verzeichnen. Die Innenklaue sowie die beiden Zonen der Innenklaue konnten einen Abfall des mittleren Druckes verzeichnen. Sie waren signifikant niedriger als die entsprechenden Werte der lateralen Klaue (Tab 15).

6.1.2.5. Maximaldruck

Bei den Kühen mit steiler Stellung der Sprunggelenke lag der mittlere Maximaldruck einer Hintergliedmasse vor der funktionellen Klauenpflege (rechts/links gepoolt und gemittelt) bei 1028 kPa \pm 251. Durch die funktionelle Klauenpflege änderte sich der mittlere Maximaldruck kaum und lag bei 1029 kPa \pm 219. Der mittlere Maximaldruck auf der Aussenklaue betrug vor der Klauenpflege 938 kPa \pm 245 und nach der Klauenpflege 988 kPa \pm 266. Beide Maximaldrücke auf der Aussenklaue waren signifikant höher als die Maximaldrücke auf der Innenklaue. Der Maximaldruck in der Sohlenzone der Aussenklaue war kaum unterschiedlich zum Maximaldruck der Sohlenzone der Innenklaue.

Tab. 16: Maximaldruck (in kPa) an der Hintergliedmasse vor der Klauenpflege (Mittelwert \pm Standardabweichung). **= signifikanter Unterschied zur ipsilateralen Klaue oder gleichen Zone der ipsilateralen Klaue.

Hintergliedmasse			
1028 kPa \pm 251			
Aussenklaue		Innenklaue	
938 kPa \pm 245 **		649 kPa \pm 188	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
478 kPa \pm 170	901 kPa \pm 283 **	479 kPa \pm 117	584 kPa \pm 254

Tab. 17: Maximaldruck in kPa der Hintergliedmasse nach Klauenpflege (Mittelwert \pm Standardabweichung). **= signifikanter Unterschied zur ipsilateralen Klaue oder gleichen Zone der ipsilateralen Klaue.

Hintergliedmasse			
1029 kPa \pm 219			
Aussenklaue		Innenklaue	
988 kPa \pm 266 **		521 kPa \pm 140	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
576 kPa \pm 199	987 kPa \pm 267 **	462 kPa \pm 167	440 kPa \pm 164

Nach der Klauenpflege nahm der Maximaldruck auf der Innenklaue auf 521 kPa \pm 140 zu, aber der Maximaldruck auf der Sohlenzone und der Ballenzone der Innenklaue ab (Tab. 17). Auf der Aussenklaue nahm der Maximaldruck nach Klauenpflege sowohl auf der Sohlenzone als auch auf der Ballenzone tendenziell zu.

6.1.2.6. Vergleich der Werte der steilen mit denen der normalen Gliedmassenstellung

Im Vergleich der Kühe mit normaler Gliedmassenstellung mit denen mit steilen Sprunggelenken ergaben sich wenige signifikante Unterschiede. Die prozentuale Kraftverteilung auf den verschiedenen Klauenzonen war ohne deutlichen Unterschied. Bei beiden Gruppen trug die Aussenklaue und ihre Ballen- und Sohlenzone signifikant mehr Gewichtskraft als die Innenklaue und ihre entsprechenden Zonen. Diese Signifikanz konnte sowohl vor als auch nach der Klauenpflege festgestellt werden. Tendenziell lastete auf der Ballenzone der Innenklaue der Kühe mit steilen Sprunggelenken mehr Gewichtskraft als auf der entsprechenden Zone der Kühe mit normaler Gliedmassenstellung. Nach der Klauenpflege verlagerte sich die Gewichtskraft bei den Kühen mit steiler Stellung in den Sprunggelenken noch mehr auf die Aussenklaue, während bei den Kühen mit normaler Gliedmassenstellung der gewünschte Effekt mit Verlagerung der Kraft auf die Innenklaue beobachtet wurde. Der Unterschied der Kraft in Newton auf der Aussenklaue nach Klauenpflege war zwischen den beiden Gruppen signi-

fikant unterschiedlich. Dabei musste aber beachtet werden, dass die Prozentzahlen nicht so stark unterschiedlich waren.

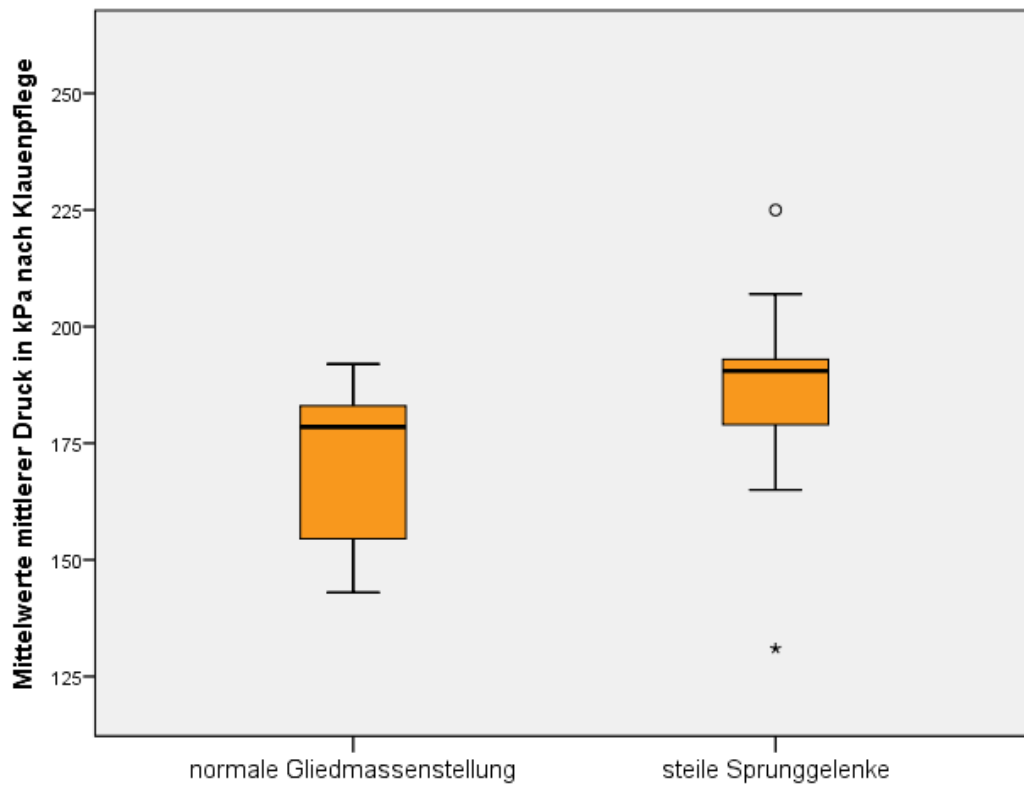


Abb. 12: Verteilung der Mittelwerte der mittleren Drücke (in kPa) auf einer Hintergliedmasse bei Kühen mit normaler und steiler Gliedmassenstellung nach Klauenpflege im Vergleich. Die mittleren Drücke bei den steilen Sprunggelenken sind signifikant höher. * Ausreisser mit mittlerem Druck 131 kPa. ° Ausreisser mit mittlerem Druck 225 kPa.

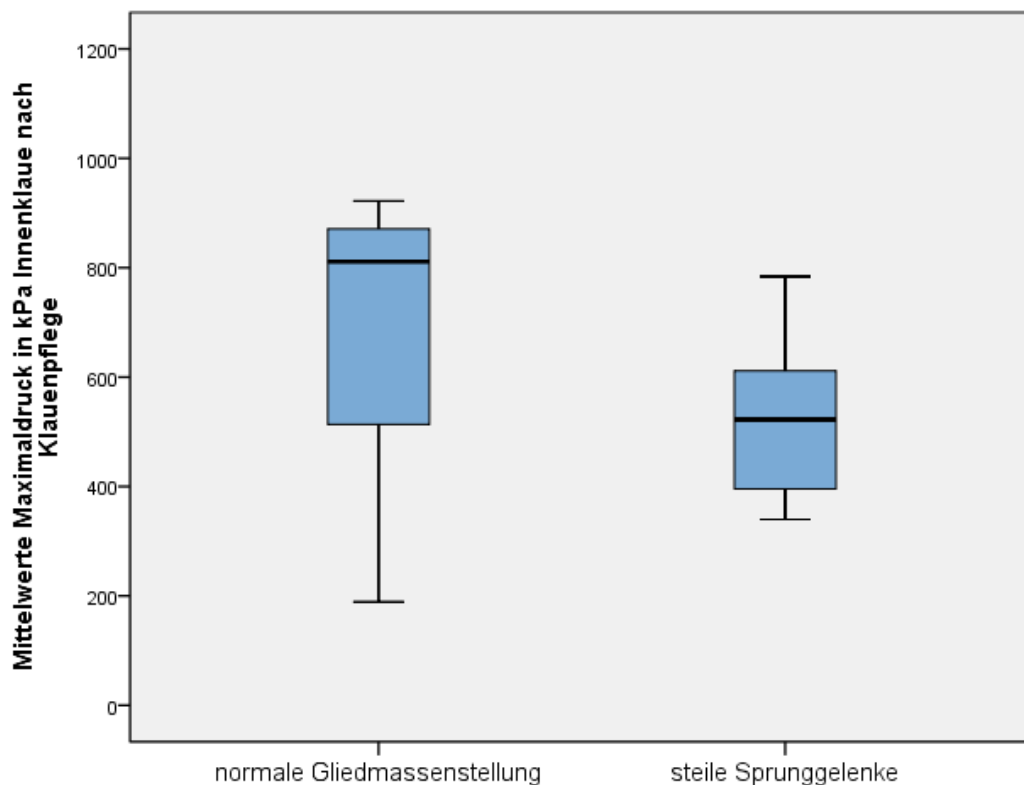


Abb. 13: Verteilung Mittelwerte der Maximaldrücke bei Kühen mit normaler Stellung der Hintergliedmassen und bei Kühen mit steiler Stellung der Sprunggelenke im Vergleich. Signifikanter Unterschied der Mittelwerte der Maximaldrücke der Innenklauen nach Klauenpflege.

Die mittlere Körpermasse in Kilogramm unterschied sich zwischen den beiden Gruppen nicht signifikant, war aber bei den Kühen mit steilen Sprunggelenken höher ($661 \text{ kg} \pm 89$) als bei den Kühen mit normaler Gliedmassenstellung ($633 \text{ kg} \pm 61$).

Die Klauenfläche war insgesamt bei den Kühen mit steilen Sprunggelenken vor Klauenpflege tendenziell grösser als bei den Kühen mit normaler Gliedmassenstellung. Speziell die Ballenzone der Aussen- und Innenklauen wies eine grössere Fläche auf. Durch die Klauenpflege verkleinerte sich die Klauenfläche der Kühe mit steilen Sprunggelenken deutlich und näherte sich den Grössenverhältnissen der Kühe mit normaler Gliedmassenstellung an. Die Auswirkungen waren in den Druckmessungen ersichtlich. Bei den Kühen mit steilen Sprunggelenken war der mittlere Druck auf einer Hintergliedmasse nach Klauenpflege signifikant höher als bei den Kühen mit normaler Gliedmassenstellung (Abb. 12). Auch der mittlere Druck im Ballenbereich der Aussenklaue der Kühe mit steilen Sprunggelenken nahm tendenziell zu, während er bei den Kühen mit normalen Gliedmassenstellungen abnahm. Der Maximaldruck des Ballenbereiches der Aussenklaue stieg bei den Kühen mit steilen Sprunggelenken zusammen mit dem mittleren Druck an, bei Kühen mit normaler Gliedmassenstellung sank er. Der Maximaldruck auf der Innenklaue war bei beiden Gruppen gesunken, jedoch bei der steilen stärker als bei der normalen Gliedmassenstellung. Schliesslich entstand ein signifikanter Unterschied zwischen den Maximaldrücken der Innenklaue (Abb. 13).

6.1.3. Kühe mit kuhhessiger Gliedmassenstellung (n = 12)

Die Kühe mit kuhhessiger Gliedmassenstellung hatten eine mittlere Körpermasse von $617 \text{ kg} \pm 70$. Die maximale Körpermasse betrug 710 kg, die minimale 470 kg.



Abb. 14: Kuh Nr. 33 mit kuhhessiger Gliedmassenstellung vor Klauenpflege.

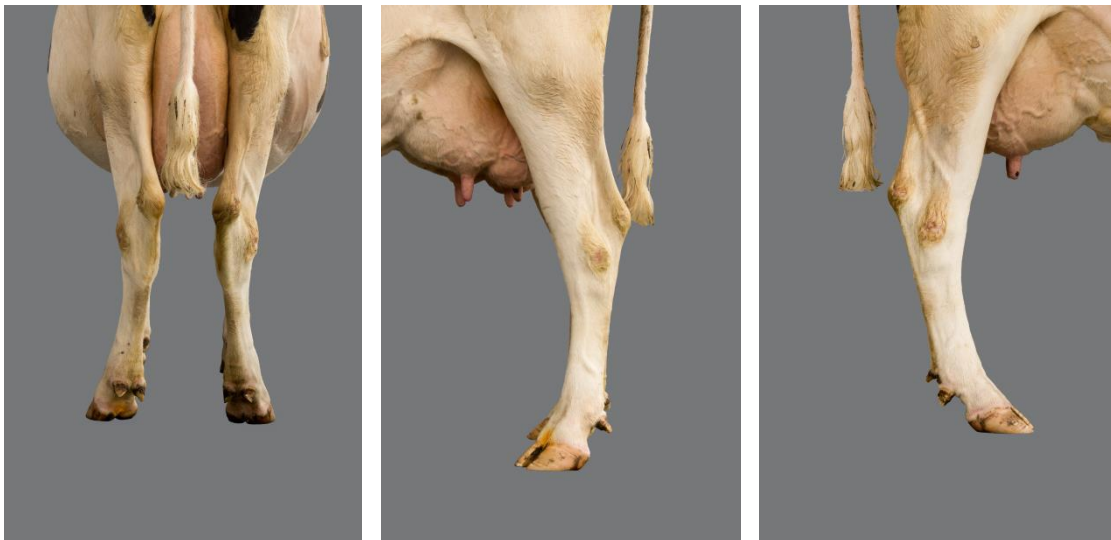


Abb. 15: Kuh Nr. 33 mit kuhhessiger Gliedmassenstellung nach Klauenpflege.

6.1.3.1. Gelenkwinkel

Der mittlere Sprunggelenkwinkel des linken Hinterbeins bei Kühen mit kuhhessiger Gliedmassenstellung betrug vor Klauenpflege $163^\circ \pm 4$ mit einem Minimum von 156° und einem Maximum von 168° . Die rechte Hintergliedmasse wies einen mittleren Sprunggelenkwinkel von $165^\circ \pm 3$ auf, wobei das Minimum 158° und das Maximum 168° betrug. Der Sprunggelenkwinkel wurde durch funktionelle Klauenpflege kaum beeinflusst. Nach Klauenpflege betrug der mittlere Sprunggelenkwinkel der linken Hintergliedmasse $164^\circ \pm 3$, der der rechten Hintergliedmasse $165^\circ \pm 3$. Das Maximum war aber an der linken auf 169° und an der rechten Hintergliedmasse auf 170° gestiegen (Abb. 14 und Abb. 15).

Der Fesselgelenkwinkel an der linken Hintergliedmasse war vor und nach Klauenpflege etwas grösser als der an der rechten Hintergliedmasse. Vor Klauenpflege betrug er an der linken Gliedmasse $166^{\circ} \pm 5$, an der rechten $163^{\circ} \pm 6$. Nach Klauenpflege war das Fesselgelenk leicht flacher, der linke Fesselgelenkwinkel betrug $165^{\circ} \pm 6$ und der rechte Fesselgelenkwinkel $162^{\circ} \pm 6$.

6.1.3.2. Gewichtskräfte

Die mittlere Gesamtgewichtskraft der beiden Hintergliedmassen in kuhhessiger Stellung betrug vor Klauenpflege $2813 \text{ N} \pm 358$ und nach Klauenpflege $2758 \text{ N} \pm 370$. Vor Klauenpflege betrug das Kräfteverhältnis der linken zur rechten Hintergliedmasse 51% : 49% (Abb. 16). Durch die Klauenpflege verschob sich dieses Belastungsverhältnis und betrug 46% : 54%. Nach dem Errechnen des Mittelwertes der Gewichtskraft für die rechte und linke Hintergliedmasse ergab sich ein Wert von $1406 \text{ N} \pm 179$ für eine Hintergliedmasse vor Klauenpflege. Von dieser Gewichtskraft waren 67% auf der Aussenklaue und 33% auf der Innenklaue lokalisiert. Die Aussenklaue trug sowohl vor wie auch nach Klauenpflege signifikant mehr Gewichtskraft als die Innenklaue (Tab. 18 und Tab. 19). Nach Klauenpflege wurde die Aussenklaue etwas entlastet und trug noch $908 \text{ N} \pm 193$ (66%), die Innenklaue wurde dafür stärker belastet ($471 \text{ N} \pm 147$, 34%).

Tab. 18: Gewichtskräfte (Mittelwert \pm Standardabweichung) an der Hintergliedmasse vor Klauenpflege, ** = signifikanter Unterschied zur ipsilateralen Klaue oder gleichen Zone der ipsilateralen Klaue.

Hintergliedmasse			
$1406 \text{ N} \pm 179$			
Aussenklaue		Innenklaue	
$949 \text{ N} \pm 214$ **		$457 \text{ N} \pm 158$	
67%		33%	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
$294 \text{ N} \pm 135$	$655 \text{ N} \pm 226$ **	$239 \text{ N} \pm 71$	$218 \text{ N} \pm 124$
21%	46%	17%	16%

Tab. 19: Gewichtskräfte (Mittelwert \pm Standardabweichung) an der Hintergliedmasse nach Klauenpflege, * = signifikanter Unterschied vor/nach Klauenpflege, ** = signifikanter Unterschied zur ipsilateralen Klaue oder gleichen Zone der ipsilateralen Klaue.

Hintergliedmasse			
$1379 \text{ N} \pm 185$			
Aussenklaue		Innenklaue	
$908 \text{ N} \pm 193$ **		$471 \text{ N} \pm 147$	
66%		34%	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
$352 \text{ N} \pm 89$	$556 \text{ N} \pm 210$ **	$285 \text{ N} \pm 96$ *	$186 \text{ N} \pm 89$
26%	40%	21%	13%

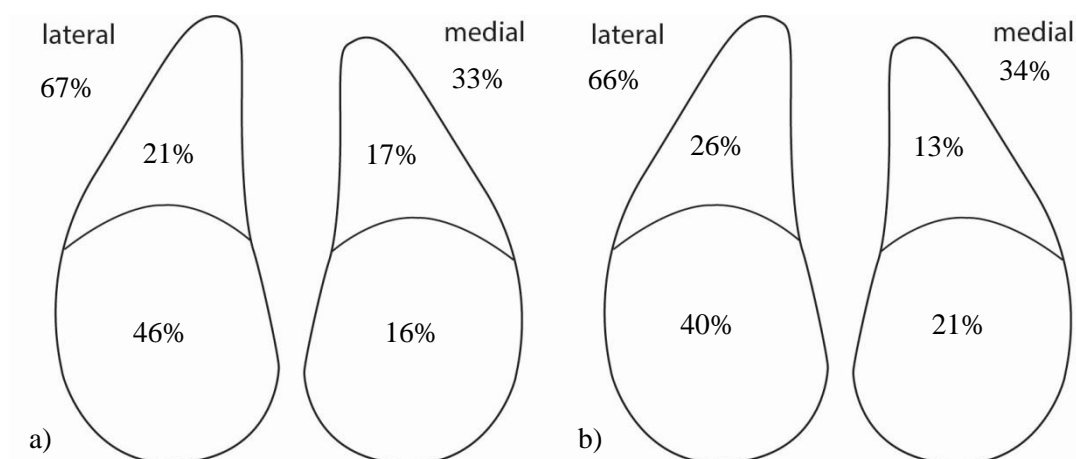


Abb. 16: Prozentuale Verteilung der Gewichtskräfte bei Kühen mit kuhhessigen Hintergliedmassen auf die Sohlen- und Ballenzonen der Aussen- und Innenklauen einer Hintergliedmasse. a) vor Klauenpflege b) nach Klauenpflege.

Vor Klauenpflege waren auf der Ballenzone der Aussenklaue 46% und auf der Sohlenzone der Aussenklaue 21% der Gewichtskraft zu verzeichnen (Abb. 16). Durch die Klauenpflege konnte die Ballenzone der Aussenklaue etwas entlastet und die Gewichtskraft auf 40% ($556 \text{ N} \pm 210$) reduziert werden. Diese Entlastung bewirkte eine signifikante Mehrbelastung der Sohlenzone der Aussenklaue. Die Sohlenzone der Innenklaue wurde nach Klauenpflege mit $285 \text{ N} \pm 96$ signifikant vermehrt belastet, denn wie an der Aussenklaue wurde auch hier die Ballenzone leicht entlastet (Tab. 19).

6.1.3.3. Fläche der Sohlenabdrücke

Die mittlere Auftrittsfläche einer Hintergliedmasse bei Kuhhessigkeit mass vor Klauenpflege $8787 \text{ mm}^2 \pm 1300$, wobei die Aussenklaue mit $5292 \text{ mm}^2 \pm 789$ die signifikant grössere Fläche als die Innenklaue mit $3495 \text{ mm}^2 \pm 684$ aufwies (Tab. 20). Dieser signifikante Unterschied blieb auch nach Klauenpflege bestehen. Durch funktionelle Klauenpflege wurde aber die Fläche der Aussenklaue signifikant auf $4905 \text{ mm}^2 \pm 634$ verkleinert. Die Fläche der Innenklaue konnte sowohl in der Sohlen- als auch in der Ballenzone etwas vergrössert werden.

Tab. 20: Registrierte Fussungsfläche (in mm^2) an der Hintergliedmasse vor Klauenpflege (Mittelwert \pm Standardabweichung). **= signifikanter Unterschied zur ipsilateralen Klaue oder gleichen Zone der ipsilateralen Klaue.

Hintergliedmasse			
$8787 \text{ mm}^2 \pm 1300$			
Aussenklaue		Innenklaue	
$5292 \text{ mm}^2 \pm 789$ **		$3495 \text{ mm}^2 \pm 684$	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
$2103 \text{ mm}^2 \pm 377$ **	$3189 \text{ mm}^2 \pm 516$ **	$1685 \text{ mm}^2 \pm 261$	$1810 \text{ mm}^2 \pm 496$

Tab. 21: Registrierte Fussungsfläche (in mm²) der Hintergliedmassen vor Klauenpflege (Mittelwert \pm Standardabweichung). *= signifikanter Unterschied vor/nach Klauenpflege. **= signifikanter Unterschied zur ipsilateralen Klaue oder gleichen Zone der ipsilateralen Klaue.

Hintergliedmasse			
8414 mm ² \pm 1283			
Aussenklaue		Innenklaue	
4905 mm ² \pm 634 */**		3509 mm ² \pm 755	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
2054 mm ² \pm 250 **	2851 mm ² \pm 475 */**	1693 mm ² \pm 240	1816 mm ² \pm 577

Nach Klauenpflege wurden eine signifikante Verkleinerung der Ballenzone der Aussenklaue sowie eine tendenzielle Verkleinerung der Sohlenzone festgestellt. Die Ballenzone wurde auf 2851 mm² \pm 475 verkleinert, die Sohlenzone auf 2054 mm² \pm 250 (Tab. 21).

6.1.3.4. Mittlerer Druck

Nach «Poolen» der Werte für beide Hintergliedmassen betrug der mittlere Druck bei Kühen mit kuhhessiger Stellung der Hintergliedmassen vor funktioneller Klauenpflege 163 kPa \pm 33. Die Aussenklaue (184 kPa \pm 54) erfuhr den signifikant höheren Druck als die Innenklaue (129 kPa \pm 40). Der höchste mittlere Druck von 208 kPa \pm 84 befand sich in der Ballenzone der Aussenklaue (Tab. 22). Dieser Druck war signifikant höher als der Druck der entsprechenden Zone der Innenklaue, die den niedrigsten Druck aller Zonen aufwies. Die Sohlenzonen der Aussen- und Innenklaue wiesen ähnliche Druckverhältnisse auf, und so konnte zwischen ihnen kein signifikanter Unterschied festgestellt werden.

Tab. 22: Mittlerer Druck (kPa) an der Hintergliedmasse vor Klauenpflege (Mittelwert \pm Standardabweichung). **= signifikanter Unterschied zur ipsilateralen Klaue oder gleichen Zone der ipsilateralen Klaue.

Hintergliedmasse			
163 kPa \pm 33			
Aussenklaue		Innenklaue	
184 kPa \pm 54 **		129 kPa \pm 40	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
138 kPa \pm 52	208 kPa \pm 84 **	141 kPa \pm 38	112 kPa \pm 59

Tab. 23: Mittlerer Druck (kPa) an der Hintergliedmasse nach Klauenpflege (Mittelwert \pm Standardabweichung). *= signifikanter Unterschied vor/nach Klauenpflege, **= signifikanter Unterschied zur ipsilateralen Klaue oder gleichen Zone der ipsilateralen Klaue.

Hintergliedmasse			
167 kPa \pm 36			
Aussenklaue		Innenklaue	
190 kPa \pm 56 **		132 kPa \pm 25	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
171 kPa \pm 39 *	201 kPa \pm 94 **	166 kPa \pm 34 *	96 kPa \pm 35

Der auf einer Gliedmasse lastende mittlere Druck war nach funktioneller Klauenpflege mit 167 kPa \pm 36 leicht höher als vor Klauenpflege. Die einzelnen Klauen wiesen ebenfalls einen höheren mittleren Druck auf, die Aussenklaue 190 kPa \pm 56 und die Innenklaue 132 kPa \pm 25. Die Ballenzone der Aussenklaue konnte etwas entlastet werden und wies nach Klauenpflege einen Druck von 201 kPa \pm 94 auf, war damit aber nach wie vor die Zone mit dem höchsten mittleren Druck (Tab. 23); der mittlere Druck auf der Ballenzone der Innenklaue sank weiter ab. Bei beiden Sohlenzonen stieg der Druck durch Klauenpflege signifikant an. So war der mittlere Druck auf der Sohlenzone der Aussenklaue von 138 kPa \pm 52 auf 171 kPa \pm 39 gestiegen, der mittlere Druck auf der Sohlenzone der Innenklaue von 141 kPa \pm 38 auf 166 kPa \pm 34.

6.1.3.5. Maximaldruck

Der mittlere Maximaldruck war vor Klauenpflege mit 1027 kPa \pm 244 deutlich, aber nicht signifikant höher als nach Klauenpflege. Signifikant höher war der Maximaldruck der Aussenklaue (967 kPa \pm 266) im Vergleich zum Maximaldruck der Innenklaue (604 kPa \pm 254). Dieser Unterschied bestand auch noch nach Klauenpflege.

Tab. 24: Maximaldruck (kPa) an der Hintergliedmasse vor der Klauenpflege (Mittelwert \pm Standardabweichung). **= signifikanter Unterschied zur ipsilateralen Klaue oder gleichen Zone der ipsilateralen Klaue.

Hintergliedmasse			
1027 kPa \pm 244			
Aussenklaue		Innenklaue	
967 kPa \pm 266 **		604 kPa \pm 254	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
518 kPa \pm 221	913 kPa \pm 310 **	508 kPa \pm 144	465 kPa \pm 310

Weiterhin wiesen die Sohlenzonen beider Klauen einen ähnlichen Maximaldruck auf, während die Ballenzonen sehr stark unterschiedliche Maximaldrücke aufwiesen (Tab. 24). Die Ballenzone der Aussenklaue wies den höchsten mittleren Maximaldruck auf, er betrug 913 kPa \pm 310. Der tiefste mitt-

lere Maximaldruck war in der Ballenzone der Innenklaue zu finden, er wurde durch funktionelle Klauenpflege noch verringert.

Tab. 25: Maximaldruck (kPa) an der Hintergliedmasse nach der Klauenpflege (Mittelwert \pm Standardabweichung). *= signifikanter Unterschied vor/nach Klauenpflege, **= signifikanter Unterschied zur ipsilateralen Klaue oder gleichen Zone der ipsilateralen Klaue.

Hintergliedmasse			
988 kPa \pm 292			
Aussenklaue		Innenklaue	
932 kPa \pm 333 **		649 kPa \pm 167	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
608 kPa \pm 154	882 kPa \pm 361 **	609 kPa \pm 174 *	409 kPa \pm 196

Durch funktionelle Klauenpflege konnte der mittlere Maximaldruck der Ballenzone der Aussenklaue auf 882 kPa \pm 361 gesenkt werden (Tab. 25). Dafür stieg der Maximaldruck auf den Sohlenzonen. Auf der Sohlenzone der Aussenklaue stieg der Maximaldruck tendenziell auf 608 kPa \pm 154. Auf der Sohlenzone der Innenklaue konnte ein signifikanter Anstieg des Maximaldruckes (609 kPa \pm 174) gemessen werden.

6.1.3.6. Vergleich der Werte der Kühe mit kuhhessiger mit denen der Kühe mit normaler Gliedmassenstellung

Die Verteilung der Gewichtskraft vor Klauenpflege auf die Aussen- und Innenklaue war zwischen den Gruppen der Kühe mit kuhhessiger Gliedmassenstellung und den Kühen mit normaler Gliedmassenstellung kaum unterschiedlich. Beide Gruppen hatten den grösseren Anteil der Gewichtskraft auf der Aussenklaue lokalisiert. Bei den Kühen mit kuhhessiger Gliedmassenstellung lag jedoch anteilmässig mehr Gewichtskraft auf der Sohlenzone (21%) der Aussenklaue als bei Kühen mit normaler Gliedmassenstellung (17%). Auch an der Innenklaue konnte bei Kühen mit kuhhessiger Gliedmassenstellung ein höherer prozentualer Gewichtskraftanteil auf der Sohlenzone gemessen werden (17%) als bei Kühen mit normaler Gliedmassenstellung (14%). Mit funktioneller Klauenpflege konnte diese Gewichtskraftverteilung noch verstärkt werden, denn bei den Kühen mit kuhhessiger Gliedmassenstellung nahm die Sohlenzone der Aussenklaue nach Klauenpflege 26% der Gewichtskraft auf, während die Ballenzone nur noch 40% der Gewichtskraft trug. Bei Kühe mit normaler Gliedmassenstellung lasteten auch nach Klauenpflege noch 45% der Gewichtskraft auf der Ballenzone der Aussenklaue und nur 19% wurden von der Sohlenzone übernommen. Die Sohlenzone der Aussenklaue der Kühe mit kuhhessiger Gliedmassenstellung hatte nach Klauenpflege einen signifikant höheren prozentualen Anteil an Gewichtskraft als die der Kühe mit normaler Gliedmassenstellung. Die Sohlenzone der Innenklaue der Kühe mit kuhhessiger Gliedmassenstellung hatte nach Klauenpflege (wie bereits vor Klau-

enpflege) tendenziell den höheren Gewichtskraftanteil (21%) als die Sohlenzone der Innenklaue der Kühe mit normaler Gliedmassenstellung.

Die durch das Messsystem registrierte Fussungsfläche war bei den Kühen mit kuhhessiger Gliedmassenstellung tendenziell grösser als bei den Kühen mit normaler Gliedmassenstellung. Durch die funktionelle Klauenpflege wurde aber bei den Kühen mit kuhhessiger Gliedmassenstellung deutlich mehr Fussungsfläche abgetragen, sie nahm um 373 mm² ab, während bei den Kühen mit normaler Gliedmassenstellung die Fussungsfläche durch die Klauenpflege lediglich um 142 mm² abnahm. Die Abnahme der Fussungsfläche fand bei beiden Gruppen vor allem an der Ballenzone, aber auch an der Sohlenzone der Aussenklaue statt.

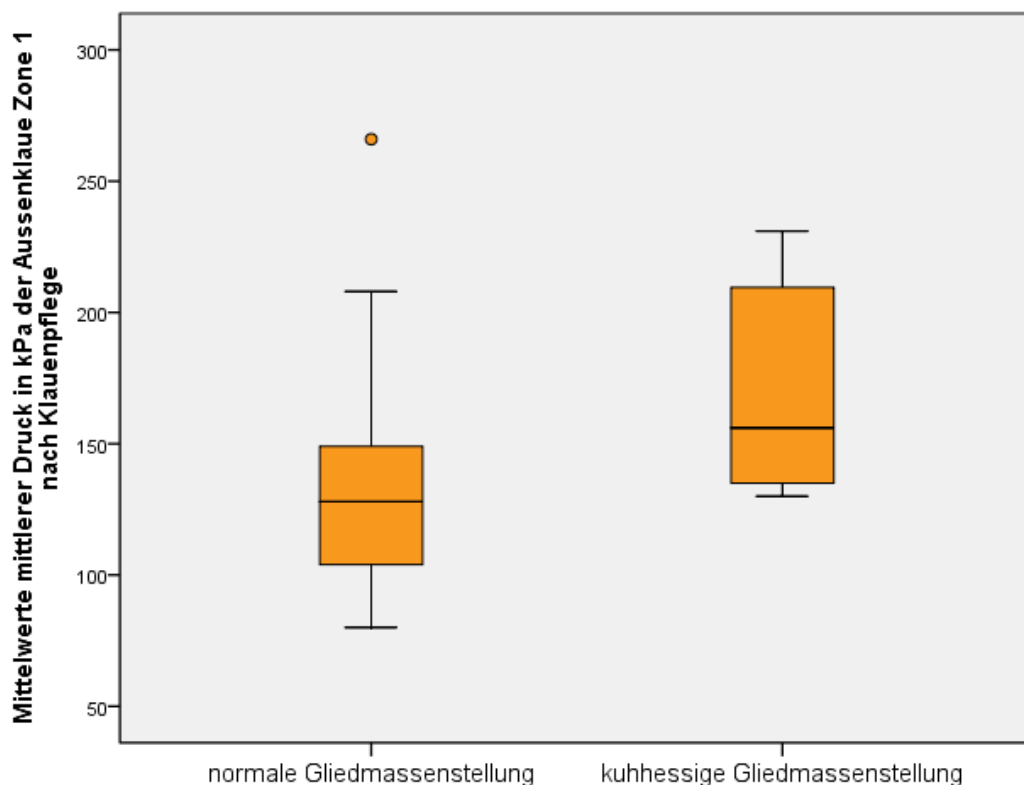


Abb. 16: Verteilung der Mittelwerte der mittleren Drücke auf der Sohlenzone der Aussenklaue nach Klauenpflege, Vergleich zwischen Kühen mit normaler Gliedmassenstellung und Kühen mit kuhhessiger Stellung der Hintergliedmassen; Mittelwerte signifikant unterschiedlich. ° Ausreisser mit mittlerem Druck auf der Sohlenzone der Aussenklaue von 266 kPa.

Die Kühe mit kuhhessiger Gliedmassenstellung wiesen vor Klauenpflege an den Klauen und den Ballenzonen geringere mittlere Drücke auf als Kühe mit normaler Gliedmassenstellung. Die Sohlenzonen der Aussen- und Innenklaue wiesen jedoch bei den Kühen mit kuhhessiger Gliedmassenstellung einen vergleichsweise höheren mittleren Druck sowie einen höheren Maximaldruck auf.

Nach Klauenpflege war der mittlere Druck auf den Sohlenzonen der Kühe mit kuhhessiger Gliedmassenstellung weiterhin höher als der mittlere Druck auf den entsprechenden Zonen bei Kühen mit normaler Gliedmassenstellung. Auf der Sohlenzone der Aussenklaue war der mittlere Druck bei Kühen mit kuhhessiger Stellung signifikant höher als bei Kühen mit normaler Stellung (Abb. 16). Die Ballenzonen der Aussenklaue konnte bei beiden Gruppen durch Klauenpflege entlastet werden; sowohl der mittlere als auch der Maximaldruck sanken.

6.1.4. Kühe mit fassbeiniger Gliedmassenstellung (n = 3)

Der Mittelwert der Körpermasse betrug bei den drei Kühen mit fassbeiniger Gliedmassenstellung 673 kg \pm 45. Die maximale Körpermasse betrug 720 kg, die minimale 630 kg.

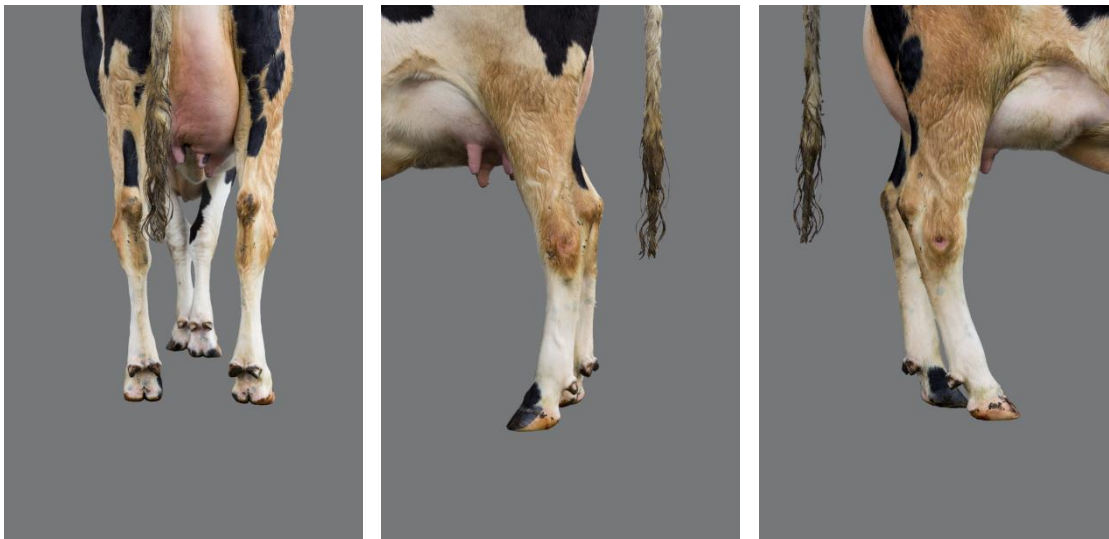


Abb. 17: Kuh Nr. 11 mit fassbeiniger Gliedmassenstellung vor Klauenpflege.

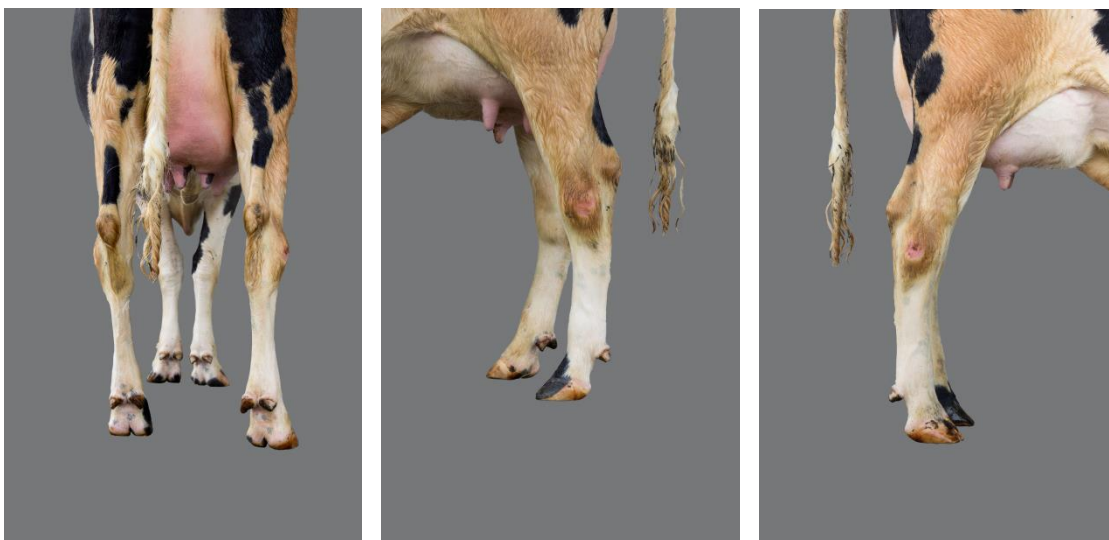


Abb. 18: Kuh Nr. 11 mit fassbeiniger Gliedmassenstellung nach Klauenpflege.

6.1.4.1. Gelenkwinkel

Der mittlere Sprunggelenkwinkel der linken Hintergliedmasse betrug bei den Kühen mit fassbeiniger Gliedmassenstellung vor Klauenpflege $169^\circ \pm 2$ und nach Klauenpflege $169^\circ \pm 4$. An der rechten Hintergliedmasse betrug der mittlere Sprunggelenkwinkel vor Klauenpflege $168^\circ \pm 1$. Nach Klauenpflege vergrösserte sich der Winkel auf $169^\circ \pm 5$ (Abb. 17 und Abb. 18).

Vor Klauenpflege war der Mittelwert der Fesselgelenkwinkel an der linken und rechten Hintergliedmasse mit $165^\circ \pm 2/4$ gleich. Die Klauenpflege ergab keine Veränderung des Fesselgelenkwinkels und beide Hintergliedmassen wiesen einen Fesselgelenkwinkel von $165^\circ \pm 4$ auf.

6.1.4.2. Gewichtskräfte

Die mittlere Gesamtkraft auf beiden Hintergliedmassen betrug bei den Kühen mit fassbeiniger Gliedmassenstellung $2979 \text{ N} \pm 273$. Nach funktioneller Klauenpflege war die Gesamtgewichtskraft mit $2882 \text{ N} \pm 271$ leicht niedriger. Nach Zusammenlegen der Messdaten der rechten und linken Hintergliedmasse und Errechnen des Mittelwertes ergab sich für die Hintergliedmasse eine Gewichtskraft von $1490 \text{ N} \pm 136$. Davon waren 82% auf der Aussenklaue und 18% auf der Innenklaue lokalisiert (Tab. 26 und Abb. 19 a).

Tab. 26: Gewichtskräfte (Mittelwert \pm Standardabweichung) an der Hintergliedmasse vor Klauenpflege.

Hintergliedmasse			
1490 N ± 136			
Aussenklaue		Innenklaue	
1221 N ± 166		269 N ± 71	
82%		18%	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
262 N ± 66	959 N ± 218	147 N ± 44	122 N ± 32
18%	64%	10%	8 % ± 2

Tab. 27: Gewichtskräfte (Mittelwert \pm Standardabweichung) an der Hintergliedmasse nach Klauenpflege.

Hintergliedmasse			
1441 N ± 135			
Aussenklaue		Innenklaue	
1248 N ± 110		193 N ± 57	
87%		13%	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
304 N ± 110	944 N ± 70	117 N ± 57	76 N ± 10
21%	66%	8%	5%

Die Zonen der Innenklaue waren somit mit weniger Gewichtskraft belastet: Die Ballenzone trug $122\text{ N} \pm 32$, die Sohlenzone $147\text{ N} \pm 44$. Der grösste Anteil der Gewichtskraft an den Zonen wurde von der Ballenzone der Aussenklaue übernommen. Diese Zone wurde mit $959\text{ N} \pm 218$ belastet und übernahm so 64% der Gewichtskraft einer Hintergliedmasse.

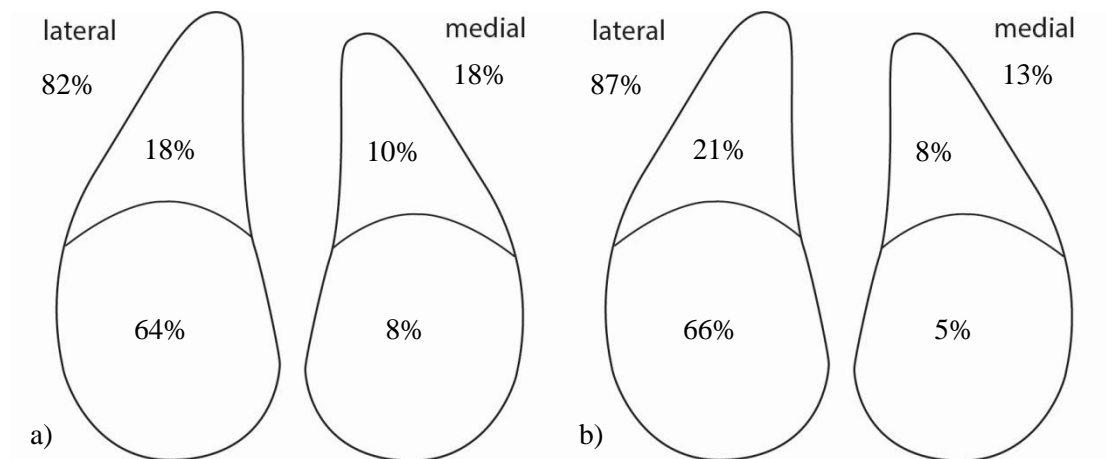


Abb. 19: Prozentuale Verteilung der Gewichtskräfte bei Kühen mit fassbeinigen Hintergliedmassen auf die Sohlen- und Ballenzonen der Aussen- und Innenklauen einer Hintergliedmasse. a) vor Klauenpflege b) nach Klauenpflege.

Nach Klauenpflege war die Gewichtskraftverteilung zwischen Aussen- und Innenklaue noch einseitiger (Tab. 27 und Abb. 19 b). Die Aussenklaue trug 87% der Gliedmassengewichtskraft, die Innenklaue nur noch 13%. In Newton betrug die Gewichtskraft $1248\text{ N} \pm 110$ auf der Aussenklaue und $193\text{ N} \pm 57$ auf der Innenklaue. Dabei fielen 66% der Gewichtskraft einer Hintergliedmasse auf die Ballenzone der Aussenklaue. Die Ballenzone der Innenklaue übernahm nur noch 5% an dieser Gewichtskraft.

6.1.4.3. Fläche der Sohlenabdrücke

Die von den Sensoren erfasste Auftrittsfläche war bei den drei Jungkühen (Durchschnittsalter 32 Monate) mit fassbeiniger Gliedmassenstellung eher klein. Sie betrug vor Klauenpflege $7980\text{ mm}^2 \pm 231$ und wurde durch funktionelle Klauenpflege auf $7936\text{ mm}^2 \pm 466$ leicht verkleinert. Anders verhielt es sich mit der Fläche der Aussenklaue. Diese konnte von $4729\text{ mm}^2 \pm 644$ auf $4971\text{ mm}^2 \pm 391$ etwas vergrössert werden. Dabei nahm aber nur die Sohlenzone an Fläche zu, die Ballenzone wurde verkleinert (Tab. 28 und 29).

Tab. 28: Registrierte Fussungsfläche in mm² (Mittelwert ± Standardabweichung) an der Hintergliedmasse vor Klauenpflege.

Hintergliedmasse			
7980 mm ² ±231			
Aussenklaue		Innenklaue	
4729 mm ² ±644		3251 mm ² ±419	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
1684 mm ² ±377	3045 mm ² ±366	1532 mm ² ±78	1719 mm ² ±344

Tab. 29: Registrierte Fussungsfläche in mm² (Mittelwert ± Standardabweichung) an der Hintergliedmasse nach Klauenpflege.

Hintergliedmasse			
7936 mm ² ±466			
Aussenklaue		Innenklaue	
4971 mm ² ±391		2965 mm ² ±288	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
1977 mm ² ±154	2994 mm ² ±245	1397 mm ² ±115	1568 mm ² ±327

Die Auftrittsfläche der Innenklaue war bereits vor Klauenpflege mit 1532 mm² ±78 für die Sohlenzone und 1719 mm² ±344 für die Ballenzone klein und wurde mit Klauenpflege weiter verkleinert. Dabei blieb aber die Ballenzone (1568 mm² ±327) grösser als die Sohlenzone (1397 mm² ±115).

6.1.4.4. Mittlerer Druck

Der mittlere Gesamtdruck einer Hintergliedmasse mit fassbeiniger Stellung war vor und nach Klauenpflege beinahe identisch. Vor Klauenpflege betrug er 188 kPa ±18, nach Klauenpflege 181 kPa ±26. Der mittlere Druck der Aussenklaue war mehr als dreimal so hoch wie der mittlere Druck der Innenklaue (Tab. 30). Nach Klauenpflege war dieser Unterschied weiterhin vorhanden.

Tab. 30: Mittlerer Druck (kPa) an der fassbeinigen Hintergliedmasse vor Klauenpflege (Mittelwert ± Standardabweichung).

Hintergliedmasse			
188 kPa ±18			
Aussenklaue		Innenklaue	
266 kPa ±52		79 kPa ±12	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
157 kPa ±6	323 kPa ±75	94 kPa ±24	59 kPa ±6

Tab. 31: Mittlerer Druck (kPa) an der fassbeinigen Hintergliedmasse nach Klauenpflege (Mittelwert \pm Standardabweichung).

Hintergliedmasse			
181 kPa \pm 26			
Aussenklaue		Innenklaue	
249 kPa \pm 39		67 kPa \pm 24	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
157 kPa \pm 71	311 kPa \pm 37	75 kPa \pm 60	48 kPa \pm 12

Mit Klauenpflege konnte aber der mittlere Druck der Aussenklaue von 266 kPa \pm 52 auf 249 kPa \pm 39 gesenkt werden. Auch die stark belastete Ballenzone der Aussenklaue konnte etwas entlastet werden, der mittlere Druck nach Klauenpflege hatte sich um 12 kPa erniedrigt (Tab. 31).

6.1.4.5. Maximaldruck

Vor Klauenpflege betrug der mittlere Maximaldruck einer Hintergliedmasse 1165 kPa \pm 157. Dieser Maximaldruck entsprach gleichzeitig auch dem Maximaldruck der Aussenklaue und der Ballenzone der Aussenklaue (Tab 32). Die Ballenzone der Aussenklaue wies daher unter den verschiedenen Zonen den höchsten Maximaldruck auf. In der Ballenzone der Innenklaue betrug der mittlere Maximaldruck zum Vergleich nur 232 kPa \pm 54. Die Sohlenzone der Aussenklaue (658 kPa \pm 123) hatte ebenfalls den deutlich höheren Maximaldruck als die Sohlenzone der Innenklaue (342 kPa \pm 147).

Tab. 32: Maximaldruck (kPa) an der Hintergliedmasse vor der Klauenpflege (Mittelwert \pm Standardabweichung).

Hintergliedmasse			
1165 kPa \pm 157			
Aussenklaue		Innenklaue	
1165 kPa \pm 157		398 kPa \pm 127	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
658 kPa \pm 123	1165 kPa \pm 157	342 kPa \pm 147	232 kPa \pm 54

Tab. 33: Maximaldruck (kPa) an der Hintergliedmasse nach der Klauenpflege (Mittelwert \pm Standardabweichung).

Hintergliedmasse			
1190 kPa \pm 216			
Aussenklaue		Innenklaue	
1190 kPa \pm 216		357 kPa \pm 175	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
600 kPa \pm 152	1177 kPa \pm 210	339 kPa \pm 168	190 kPa \pm 93

Nach Klauenpflege war der Maximaldruck der Hintergliedmasse, der Aussenklaue sowie der Ballenzone der Aussenklaue höher als vor Klauenpflege. Weiterhin war der Maximaldruck der Hintergliedmasse und der Aussenklaue mit 1190 kPa \pm 216 identisch. Der Maximaldruck der Ballenzone der Aussenklaue war weniger stark angestiegen und betrug 1177 kPa \pm 210 (Tab. 33).

6.1.4.6. Vergleich der Werte der Kühe mit fassbeiniger mit denen der Kühe mit normaler Gliedmassenstellung

Die Kühe mit fassbeiniger Gliedmassenstellung hatten eine deutlich einseitige Kraftverteilung zulasten der Aussenklaue im Vergleich zur Kraftverteilung der Kühe mit normaler Gliedmassenstellung. Dies konnte sowohl vor als auch nach Klauenpflege gemessen werden. Das Verhältnis der Aussen- zur Innenklaue betrug bei den fassbeinigen Kühen 82% : 18% vor Klauenpflege, bei den Kühen mit normaler Gliedmassenstellung dagegen 68% : 32%. Bei den Kühen mit normaler Gliedmassenstellung glich sich dieses ungleiche Verhältnis durch die Klauenpflege etwas aus (63% : 37%), während bei den fassbeinigen Kühen danach ein noch höherer Prozentanteil der Gewichtskraft auf der Aussenklaue lag (87% : 13%). Die Kühe mit fassbeiniger Gliedmassenstellung hatten vor und nach Klauenpflege die kleinere Auftrittsfläche als die Kühe mit normaler Gliedmassenstellung. Daraus resultierte ein höherer mittlerer Druck bei den fassbeinigen Kühen. Speziell die Aussenklaue und die Ballenzone der Aussenklaue wiesen deutlich höhere mittlere Drücke als bei normaler Gliedmassenstellung auf. Die Kühe mit fassbeiniger Gliedmassenstellung hatten weiterhin einen deutlich höheren Maximaldruck auf der Hintergliedmasse, auf der Aussenklaue und der Ballenzone der Aussenklaue als die Kühe mit normaler Gliedmassenstellung.

6.2. Gewichtsverschiebung (n = 40 Kühe)

6.2.1. Veränderung der Gewichtskräfte an den Klauen beim Verschieben des Beckens von der linken auf die rechte Hintergliedmasse

In der Ausgangsposition war die Gewichtskraft zu 49% auf der linken Hintergliedmasse und zu 51% auf der rechten Hintergliedmasse verteilt (Abb. 20). Das prozentuale Verhältnis der Gewichtskräfte der Aussenklaue zu denen der Innenklaue betrug an der linken Hintergliedmasse 64% : 36% und an der rechten Hintergliedmasse 70% : 30%. Die Ballenzone war an beiden Hintergliedmassen sowie an der lateralen und medialen Klaue mehr belastet als die Sohlenzone. Durch das induzierte Verschieben des Körpergewichts zur rechten Körperseite hin verschob sich die Gesamtgewichtskraft zum Zeitpunkt der maximalen Belastung zu 77% (2066 N \pm 354) auf die rechte Hintergliedmasse und nur noch 23% (633 N \pm 327) waren auf der linken Hintergliedmasse lokalisiert. Davon waren 9% auf die Aussenklaue

und 14% auf die Innenklaue verteilt. Die Innenklaue der entlasteten linken Hintergliedmasse trug somit bei Verschiebung des Körpergewichts mehr Kraft als die Aussenklaue.

Die beiden Zonen der Innenklaue trugen beide 7% der Gesamtgewichtskraft, die Zonen der entlasteten Aussenklaue zusammen nur noch 9% (zuvor 31%) der Gesamtgewichtskraft. Die Gewichtskraft aller Zonen der linken Hintergliedmassen nahm bei der induzierten Gewichtsverschiebung signifikant ab (Tab. 35).

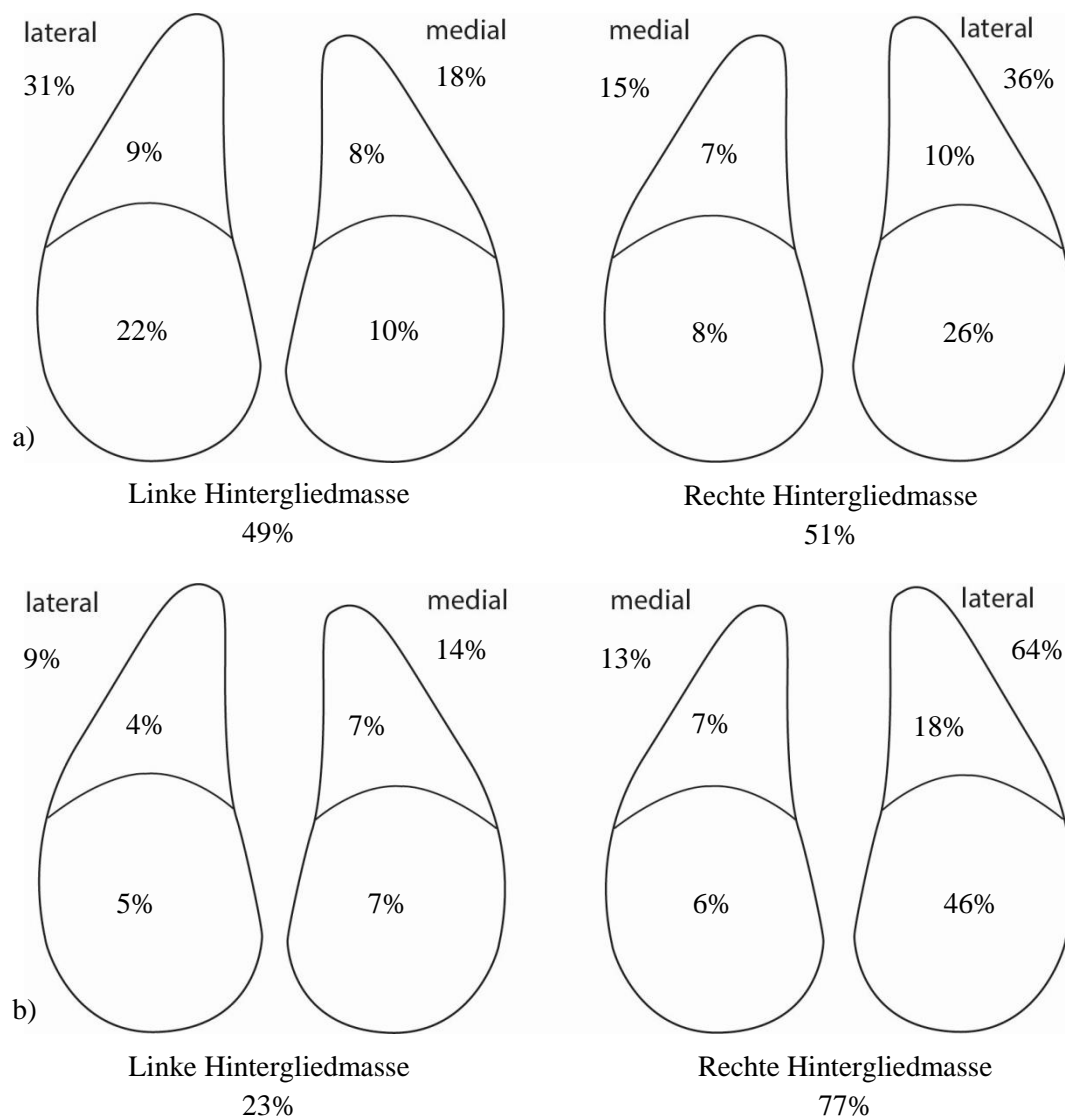


Abb. 20: Kraftverteilung in Prozent auf die Gliedmassen, die Klauen und die Zonen. Nenner (100%) ist die Gesamtkraft auf den Hintergliedmassen. a) Ausgangssituation, b) bei maximaler Gewichtsverschiebung nach rechts.

Bei Verschiebung des Körpergewichts zur rechten Hintergliedmasse hin übernahm die Aussenklaue 64% und die Ballenzone der Aussenklaue 46% der Gesamtgewichtskraft (Abb. 20). Die Innenklaue der rechten Hintergliedmasse übernahm ähnlich viel Gewichtskraft (13%) wie die Innenklaue der ent-

lasteten linken Hintergliedmasse (14%); beide trugen jedoch damit weniger Gewichtsanteil als in der Ausgangsposition (18% und 15%). Die Sohlenzone der Innenklaue der rechten, vermehrt belasteten Hintergliedmasse übernahm mehr Gewichtskraft als die Ballenzone der entsprechenden Klaue. Die Gewichtskräfte in Newton (Tab. 34 und 35) veränderten sich deutlich mehr als die Prozentwerte und waren alle zur Ausgangsposition signifikant unterschiedlich.

6.2.2. Veränderung der Fläche an den Klauen beim Verschieben des Beckens von der linken auf die rechte Hintergliedmasse

Mit der Verschiebung des Körpergewichts und somit auch der Gewichtskraft zur rechten Hintergliedmasse hin nahm die Auftrittsfläche an der linken Hintergliedmasse signifikant ab. Davon waren die Aussen- und Innenklaue der linken Hintergliedmasse sowie alle Zonen der linken Hintergliedmasse betroffen. Die Ballenzone der Aussenklaue nahm deutlich stärker an Auftrittsfläche ab als die Sohlenzone. Bei der Ausgangssituation war die Ballenzone deutlich grösser als die Sohlenzone (Tab. 36 und Tab. 37). Durch die Verlagerung des Körpergewichts, und somit Entlastung der linken Hintergliedmasse, war die Auftrittsfläche der Sohlenzone der Aussenklaue grösser als die Auftrittsfläche der Ballenzone geworden. Bei der vermehrt belasteten rechten Hintergliedmasse hatte nur die Fläche der Aussenklaue von $4870 \text{ mm}^2 \pm 785$ auf $5175 \text{ mm}^2 \pm 813$ signifikant zugenommen, nicht jedoch die Fläche der Innenklaue. Die Innenklaue hatte, zusammen mit der geringeren Gewichtskraft, an Auftrittsfläche abgenommen. Weiterhin nahmen die Sohlen- und Ballenzone der Aussenklaue der rechten Hintergliedmasse bei maximaler Gewichtsverschiebung signifikant zu. Die Auftrittsfläche der Ballenzone der Aussenklaue war von $2920 \text{ mm}^2 \pm 536$ auf $3149 \text{ mm}^2 \pm 527$ signifikant gestiegen. Die Sohlenzone nahm mit der Mehrbelastung von $1950 \text{ mm}^2 \pm 403$ auf $2026 \text{ mm}^2 \pm 397$ zu.

6.2.3. Veränderung des mittleren Drucks an den Klauen beim Verschieben des Beckens von der linken auf die rechte Hintergliedmasse

Der mittlere Druck nahm bei Verschiebung des Körpergewichts auf die rechte Hintergliedmasse an der linken Hintergliedmasse nur an der Aussenklaue ab. Der Druck auf der Aussenklaue war von $180 \text{ kPa} \pm 58$ signifikant auf $89 \text{ kPa} \pm 41$ gesunken. Die Sohlenzone und die Ballenzone wiesen beide eine signifikante Druckminderung auf. Im Gegensatz dazu betrug der Druck auf der Innenklaue bei der Ausgangssituation gleichviel wie bei der maximalen Verschiebung des Körpergewichts, wobei sich die Standardabweichung leicht erhöhte ($140 \text{ kPa} \pm 50$, $140 \text{ kPa} \pm 62$). In der Ballenzone der Innenklaue der linken Hintergliedmasse verringerte sich der mittlere Druck etwas, war dafür in der Sohlenzone etwas erhöht (Tab. 38 und Tab. 39). Dies weist auf ein Anheben des Ballens bei Entlastung der Gliedmasse hin.

Der mittlere Druck auf der rechten, vermehrt belasteten Gliedmasse nahm signifikant zu. Dabei stützte sich das verlagerte, zusätzliche Gewicht nur auf die Aussenklaue, denn auf der Innenklaue konnte ein signifikanter Druckabfall im Vergleich zur Ausgangsposition festgestellt werden. Auch hier war vor allem die Sohlenzone belastet, während die Ballenzone eine Druckminderung erfuhr. Auf der Aussenklaue war eine signifikante Zunahme des mittleren Drucks messbar. Der höchste mittlere Druck war in der Ballenzone der Aussenklaue lokalisiert. Dieser mittlere Druck war signifikant höher als der Druck in der Ballenzone bei der Ausgangsposition. Auch der mittlere Druck der Sohlenzone der Aussenklaue der rechten Hintergliedmasse war signifikant höher als bei der Ausgangsposition (Tab. 38 und Tab. 39).

Tab. 34: Gewichtskräfte auf den Hintergliedmassen, den Klauen und den Klauenzonen in der Ausgangsposition, Prozentangaben mit Gewichtskraft einer Gliedmasse im Nenner (100%), (Mittelwert \pm Standardabweichung).

linke Hintergliedmasse				rechte Hintergliedmasse			
1378 N \pm 270				1450 N \pm 293			
49%				51%			
Aussenklaue		Innenklaue		Innenklaue		Aussenklaue	
876 N \pm 285		502 N \pm 193		433 N \pm 211		1017 N \pm 301	
64%		36%		30%		70%	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
269 N \pm 128	607 N \pm 288	230 N \pm 113	272 N \pm 164	204 N \pm 112	229 N \pm 177	294 N \pm 147	723 N \pm 259
20%	44%	17%	20%	14%	16%	20%	50%

Tab. 35: Kraftverteilung in Newton auf den Hintergliedmassen bei Verschiebung des Körpergewichts nach rechts, Prozentangaben mit Nenner Gliedmassenkraft (100%), *= signifikanter Unterschied zur Ausgangsposition, (Mittelwert \pm Standardabweichung).

linke Hintergliedmasse				rechte Hintergliedmasse			
633 N \pm 327 *				2066 N \pm 354 *			
23%				77%			
Aussenklaue		Innenklaue		Innenklaue		Aussenklaue	
242 N \pm 201 *		391 N \pm 240 *		342 N \pm 206 *		1724 N \pm 383 *	
38%		62%		17%		83%	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
103 N \pm 72 *	139 N \pm 181 *	195 N \pm 124 *	196 N \pm 173 *	181 N \pm 104 *	161 N \pm 157 *	484 N \pm 213 *	1240 N \pm 329 *
16%	22%	31%	31%	9%	8%	23%	60%

Tab. 36: Auftrittsfläche in mm² der linken und rechten Hintergliedmasse, der Klauen und der Zonen bei der Ausgangsposition, (Mittelwert ± Standardabweichung).

linke Hintergliedmasse				rechte Hintergliedmasse			
8504 mm ² ±1397				8254 mm ² ±1385			
Aussenklaue		Innenklaue		Innenklaue		Aussenklaue	
4909 mm ² ±751		3595 mm ² ±854		3384 mm ² ±890		4870 mm ² ±785	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
2014 mm ² ±362	2895 mm ² ±489	1629 mm ² ±361	1966 mm ² ±599	1565 mm ² ±365	1819 mm ² ±696	1950 mm ² ±403	2920 mm ² ±536

Tab. 37: Auftrittsfläche in mm² der linken und rechten Hintergliedmasse, der Klauen und der Zonen bei Verschiebung des Körpergewichts nach rechts. *= signifikanter Unterschied zur Ausgangsposition, (Mittelwert ± Standardabweichung).

linke Hintergliedmasse				rechte Hintergliedmasse			
5111 mm ² ±2189 *				8088 mm ² ±1467			
Aussenklaue		Innenklaue		Innenklaue		Aussenklaue	
2451 mm ² ±1342 *		2631 mm ² ±1106 *		2913 mm ² ±919 *		5175 mm ² ±813 *	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
1252 mm ² ±481 *	1228 mm ² ±1070 *	1292 mm ² ±394 *	1338 mm ² ±846 *	1455 mm ² ±345 *	1458 mm ² ±757 *	2026 mm ² ±397 *	3149 mm ² ±527 *

Tab. 38: Mittlerer Druck (kPa) der linken und rechten Hintergliedmasse, der Klauen und der Zonen bei der Ausgangsposition, (Mittelwert ± Standardabweichung).

linke Hintergliedmasse				rechte Hintergliedmasse			
164 kPa ±34				179 kPa ±44			
Aussenklaue		Innenklaue		Innenklaue		Aussenklaue	
180 kPa ±58		140 kPa ±50		127 kPa ±53		211 kPa ±64	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
132 kPa ±59	209 kPa ±92	139 kPa ±56	136 kPa ±79	126 kPa ±59	115 kPa ±74	149 kPa ±70	248 kPa ±90

Tab. 39: Mittlerer Druck (kPa) der linken und rechten Hintergliedmasse, der Klauen und Zonen bei maximaler Verschiebung nach rechts. *= signifikanter Unterschied zur Ausgangsposition, (Mittelwert \pm Standardabweichung).

linke Hintergliedmasse				rechte Hintergliedmasse			
121 kPa \pm 40 *				265 kPa \pm 70 *			
Aussenklaue		Innenklaue		Innenklaue		Aussenklaue	
89 kPa \pm 41 *		140 kPa \pm 62		115 kPa \pm 52 *		342 kPa \pm 99 *	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
76 kPa \pm 43 *	66 kPa \pm 65 *	141 kPa \pm 72	116 kPa \pm 87 *	120 kPa \pm 56 *	95 kPa \pm 73 *	240 kPa \pm 105 *	404 kPa \pm 124 *

Tab. 40: Mittlerer Maximaldruck der linken und rechten Hintergliedmasse, der Klauen und der Zonen bei der Ausgangsposition, (Mittelwert \pm Standardabweichung).

linke Hintergliedmasse				rechte Hintergliedmasse			
984 kPa \pm 279				1059 kPa \pm 301			
Aussenklaue		Innenklaue		Innenklaue		Aussenklaue	
879 kPa \pm 326		649 kPa \pm 293		603 kPa \pm 318		1014 kPa \pm 317	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
501 kPa \pm 246	834 kPa \pm 235	521 kPa \pm 257	515 kPa \pm 293	478 kPa \pm 267	462 kPa \pm 326	574 kPa \pm 288	984 kPa \pm 331

Tab. 41: Mittlerer Maximaldruck der linken und rechten Hintergliedmasse, der Klauen und Zonen bei maximaler Verschiebung des Körpergewichts nach rechts. *= signifikanter Unterschied zur Ausgangsposition, (Mittelwert \pm Standardabweichung)

linke Hintergliedmasse				rechte Hintergliedmasse			
668 kPa \pm 306 *				1519 kPa \pm 373 *			
Aussenklaue		Innenklaue		Innenklaue		Aussenklaue	
384 kPa \pm 213 *		613 kPa \pm 337		532 kPa \pm 323 *		1501 kPa \pm 375 *	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
268 kPa \pm 173 *	246 kPa \pm 257 *	517 kPa \pm 312	427 kPa \pm 332 *	430 kPa \pm 246 *	350 kPa \pm 339 *	951 kPa \pm 416 *	1466 kPa \pm 398 *

6.2.4. Veränderung des Maximaldrucks an den Klauen beim Verschieben des Beckens von der linken auf die rechte Hintergliedmasse

Der mittlere Maximaldruck der linken Hintergliedmasse sank bei Verschiebung des Körpergewichts zur rechten Hintergliedmasse hin signifikant von 984 kPa \pm 279 auf 668 kPa \pm 306. Gleichzeitig stieg der mittlere Maximaldruck der rechten Hintergliedmasse von 1059 kPa \pm 301 bei der Ausgangssituation auf 1519 kPa \pm 373 bei der maximalen Verschiebung signifikant an (Tab. 40 und Tab. 41). An der Aussenklaue insgesamt sowie an beiden Zonen der Aussenklaue der linken, entlasteten Hintergliedmasse nahm der Maximaldruck signifikant ab. Geringfügig anders waren die Verhältnisse an der Innenklaue der linken Hintergliedmasse. Der Maximaldruck sank an der Klaue insgesamt nur sehr leicht und nahm nur in der Sohlenzone etwas zu. Einzig in der Ballenzone der Innenklaue der linken Hintergliedmasse nahm der Maximaldruck mit der Entlastung der Gliedmasse signifikant ab.

Der Maximaldruck an der rechten Hintergliedmasse nahm mit der vermehrten Belastung bei Verschiebung des Gewichts signifikant zu. Der Maximaldruck der Innenklaue der rechten Hintergliedmasse nahm dabei jedoch signifikant ab. Dabei hatten auch beide Zonen der Innenklaue einen tieferen Maximaldruck als bei der Ausgangsposition, die Sohlenzone aber den höheren als die Ballenzone. Auf der Aussenklaue der rechten Hintergliedmasse, die durch die Gewichtsverschiebung stärker belastet wurde, nahm der Maximaldruck signifikant auf 1501 kPa \pm 375 zu. Speziell vermehrt belastet wurde dabei die Ballenzone der Aussenklaue mit 1466 kPa \pm 398, wobei auch der Maximaldruck der Sohlenzone signifikant auf 951 kPa \pm 416 zunahm.

6.2.5. Einfluss der Klauenpflege auf die Klauenbelastung bei Verschieben des Beckens von der linken auf die rechte Hintergliedmasse

6.2.5.1. Gewichtskräfte

Die gesamte Gewichtskraft auf den Hintergliedmassen bei der Ausgangsposition betrug vor Klauenpflege 2842 N \pm 310, nach Klauenpflege 2814 N \pm 328. Bei der Ausgangsposition vor Klauenpflege war die Gewichtskraft zu 48% auf die linke und zu 52% auf die rechte Hintergliedmasse verteilt (Tab. 42). Kaum unterschiedlich war dies nach Klauenpflege, nach der die Gewichtskraft zu 49% auf der linken Hintergliedmasse und zu 51% auf der rechten Hintergliedmasse lag (Tab. 43). Die Verteilung auf die Aussen- und Innenklauen unterschied sich nicht signifikant. Als signifikanter Unterschied zwischen den Werten vor- und den Werten nach Klauenpflege wurden diejenigen der Sohlenzone der Aussenklaue der linken Hintergliedmasse ermittelt. Vor Klauenpflege betrug die Kraft auf dieser Sohlenzone 243 N \pm 112, nach Klauenpflege 305 N \pm 134. Bei der rechten Hintergliedmasse konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

Die maximale Verschiebung des Körpergewichts auf die rechte Hintergliedmasse wurde vor und nach Klauenpflege im gleichen Masse ausgeführt. Noch 24% respektive 23% der Gesamtgewichtskraft auf den Hintergliedmassen blieben auf der linken Hintergliedmasse bestehen (Tab. 44 und Tab 45).

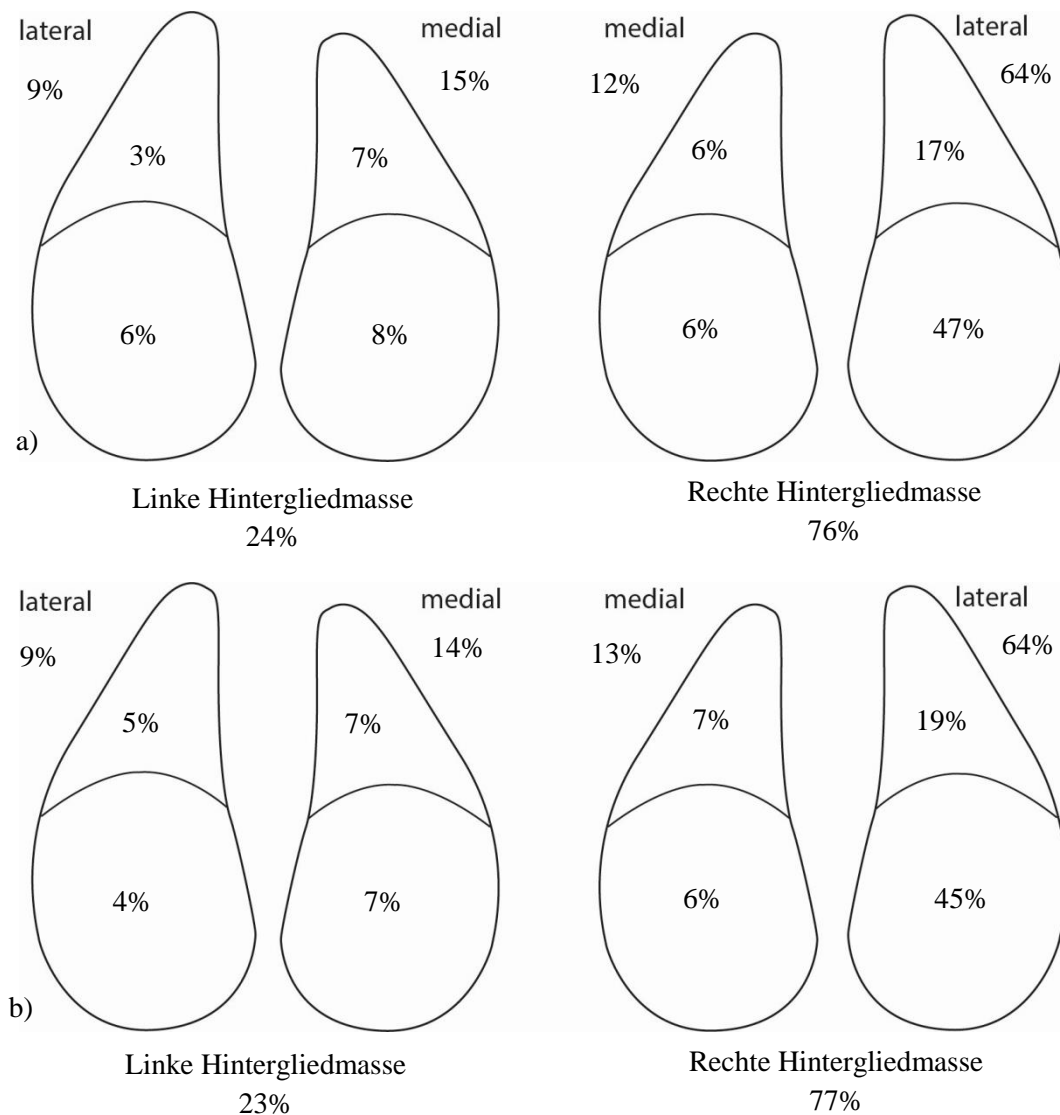


Abb. 21: Prozentuale Verteilung der Gewichtskraft auf den verschiedenen Klauen und Zonen bei maximaler Verschiebung des Körpergewichts zur rechten Körperseite hin, a) vor Klauenpflege, b) nach Klauenpflege.

Die rechte Hintergliedmasse trug vor Klauenpflege entsprechend 76%, nach Klauenpflege 77% der Gewichtskraft (Abb. 21). Vor sowie auch nach Klauenpflege war die Aussenklaue der rechten Hintergliedmasse mit 64% der Gesamtgewichtskraft belastet. Die Ballenzone der Aussenklaue war vor Klauenpflege mit 47% der Gesamtgewichtskraft, nach Klauenpflege mit 45% der Gesamtgewichtskraft belastet. Die Sohlenzone der Aussenklaue der rechten Hintergliedmasse nahm mit 19% nach Klauenpflege etwas mehr Gewichtskraft auf als vor Klauenpflege (17%).

Tab. 42: Kraftverteilung in Newton (Mittelwert \pm Standardabweichung) auf die rechte und linke Hintergliedmasse, die Klauen und die Zonen **vor** Klauenpflege, Ausgangsposition, Prozentangaben mit Nenner Gliedmassenkraft (100%).

linke Hintergliedmasse				rechte Hintergliedmasse			
1370 N \pm 261				1471 N \pm 306			
48%				52%			
Aussenklaue		Innenklaue		Innenklaue		Aussenklaue	
853 N \pm 262		517 N \pm 219		418 N \pm 217		1053 N \pm 315	
62%		38%		30%		70%	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
234 N \pm 112	613 N \pm 276	221 N \pm 113	296 N \pm 190	180 N \pm 89	238 N \pm 191	279 N \pm 143	773 N \pm 260
17%	45%	16%	22%	14%	16%	20%	50%

Tab. 43: Kraftverteilung in Newton (Mittelwert \pm Standardabweichung) auf die linke und rechte Hintergliedmasse, die Klauen und die Zonen **nach** Klauenpflege, Ausgangsposition, Prozentangaben mit Nenner Gliedmassenkraft (100%).

linke Hintergliedmasse				rechte Hintergliedmasse			
1384 N \pm 282				1429 N \pm 282			
49%				51%			
Aussenklaue		Innenklaue		Innenklaue		Aussenklaue	
899 N \pm 308		486 N \pm 182		448 N \pm 208		981 N \pm 284	
65%		35%		31%		69%	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
305 N \pm 134 *	594 N \pm 301	239 N \pm 114	247 N \pm 131	228 N \pm 129	220 N \pm 165	309 N \pm 151	672 N \pm 251
22%	43%	17%	18%	16%	15%	22%	47%

Tab. 44: Kraftverteilung in Newton (Mittelwert \pm Standardabweichung) der linken und rechten Hintergliedmasse, der Klauen und der Zonen **vor** Klauenpflege, bei maximaler Verschiebung des Körpergewichts auf die rechte Hintergliedmasse, Prozentangaben mit Nenner Gliedmassenkraft (100%) *= signifikanter Unterschied vor/nach Klauenpflege.

linke Hintergliedmasse				rechte Hintergliedmasse			
647 N \pm 347				2050 N \pm 390			
24%				76%			
Aussenklaue		Innenklaue		Innenklaue		Aussenklaue	
252 N \pm 219		395 N \pm 258		333 N \pm 219		1717 N \pm 397	
39%		61%		16%		84%	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
93 N \pm 60	159 N \pm 200	182 N \pm 125	213 N \pm 190	165 N \pm 88	168 N \pm 167	440 N \pm 208	1277 N \pm 351
14%	25%	28%	33%	8%	8%	22%	62%

Tab. 45: Kraftverteilung in Newton (Mittelwert \pm Standardabweichung) der linken und rechten Hintergliedmassen, der Klauen und der Zonen **nach** Klauenpflege, maximale Verschiebung des Körpergewichts auf die rechte Hintergliedmasse, Prozentangaben mit Nenner Gliedmassenkraft (100%) *= signifikanter Unterschied vor/nach Klauenpflege.

linke Hintergliedmasse				rechte Hintergliedmasse			
619 N \pm 308				2083 N \pm 318			
23%				77%			
Aussenklaue		Innenklaue		Innenklaue		Aussenklaue	
231 N \pm 183		387 N \pm 224		351 N \pm 197		1731 N \pm 374	
37%		63%		17%		83%	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
112 N \pm 82	119 N \pm 160	208 N \pm 123	179 N \pm 155	198 N \pm 117	153 N \pm 148	527 N \pm 212	1204 N \pm 305
18%	19%	34%	29%	10%	7%	25%	58%

Tab. 46: Auftrittfläche in mm² (Mittelwert ± Standardabweichung) der linken und rechten Hintergliedmasse, der Klauen und der Zonen bei der Ausgangsposition **vor** Klauenpflege.

linke Hintergliedmasse				rechte Hintergliedmasse			
8493 mm ² ±1610				8364 mm ² ±1496			
Aussenklaue		Innenklaue		Innenklaue		Aussenklaue	
4946 mm ² ±383		3547 mm ² ±975		3299 mm ² ±934		5065 mm ² ±744	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
1967 mm ² ±412	2979 mm ² ±516	1590 mm ² ±416	1957 mm ² ±653	1519 mm ² ±388	1780 mm ² ±702	1962 mm ² ±398	3103 mm ² ±494

Tab. 47: Auftrittfläche in mm² (Mittelwert ± Standardabweichung) der linken und rechten Hintergliedmasse, der Klauen und der Zonen bei der Ausgangsposition **nach** Klauenpflege *= signifikanter Unterschied vor/nach Klauenpflege.

linke Hintergliedmasse				rechte Hintergliedmasse			
8515 mm ² ±1167				8143 mm ² ±1273			
Aussenklaue		Innenklaue		Innenklaue		Aussenklaue	
4872 mm ² ±662		3643 mm ² ±722		3468 mm ² ±848		4675 mm ² ±786 *	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
2061 mm ² ±302	2811 mm ² ±452	1668 mm ² ±296	1975 mm ² ±548	1611 mm ² ±338	1857 mm ² ±697	1938 mm ² ±413	2737 mm ² ±518 *

Tab. 48: Auftrittfläche in mm² (Mittelwert ± Standardabweichung) der linken und rechten Hintergliedmasse, der Klauen und der Zonen bei maximaler Verschiebung des Körpergewichts auf die rechte Hintergliedmasse **vor** Klauenpflege.

linke Hintergliedmasse				rechte Hintergliedmasse			
5187 mm ² ±2426				8219 mm ² ±1612			
Aussenklaue		Innenklaue		Innenklaue		Aussenklaue	
2612 mm ² ±1485		2574 mm ² ±1164		2892 mm ² ±925		5327 mm ² ±878	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
1266 mm ² ±512	1347 mm ² ±1188	1246 mm ² ±388	1329 mm ² ±898	1444 mm ² ±306	1447 mm ² ±753	2020 mm ² ±429	3307 mm ² ±568

Tab. 49: Auftrittsfläche in mm² (Mittelwert ± Standardabweichung) der linken und rechten Hintergliedmasse, der Klauen und der Zonen bei maximaler Verschiebung des Körpergewichts auf die rechte Hintergliedmasse **nach** Klauenpflege, *= signifikanter Unterschied vor/nach Klauenpflege.

linke Hintergliedmasse				rechte Hintergliedmasse			
5035 mm ² ±1950				7958 mm ² ±1312			
Aussenklaue		Innenklaue		Innenklaue		Aussenklaue	
2349 mm ² ±1186		2686 mm ² ±1057		2934 mm ² ±925		5024 mm ² ±721	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
1239 mm ² ±454	1109 mm ² ±937	1339 mm ² ±339	1348 mm ² ±803	1466 mm ² ±383	1468 mm ² ±772	2032 mm ² ±368	2992 mm ² ±463 *

Tab. 50: Mittlerer Druck in kPa (Mittelwert ± Standardabweichung) der linken und rechten Hintergliedmasse, der Klauen und der Zonen bei der Ausgangsposition **vor** Klauenpflege.

linke Hintergliedmasse				rechte Hintergliedmasse			
164 kPa ±35				181 kPa ±49			
Aussenklaue		Innenklaue		Innenklaue		Aussenklaue	
174 kPa ±55		146 kPa ±55		127 kPa ±59		211 kPa ±69	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
116 kPa ±49	208 kPa ±89	137 kPa ±57	148 kPa ±95	116 kPa ±50	119 kPa ±87	141 kPa ±72	254 kPa ±94

Tab. 51: Mittlerer Druck in kPa (Mittelwert ± Standardabweichung) der linken und rechten Hintergliedmasse, der Klauen und der Zonen bei der Ausgangsposition **nach** Klauenpflege, *= signifikanter Unterschied vor/nach Klauenpflege.

linke Hintergliedmasse				rechte Hintergliedmasse			
164 kPa ±33				178 kPa ±38			
Aussenklaue		Innenklaue		Innenklaue		Aussenklaue	
186 kPa ±62		134 kPa ±45		128 kPa ±48		210 kPa ±59	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
149 kPa ±64 *	210 kPa ±95	141 kPa ±57	124 kPa ±58	136 kPa ±65	110 kPa ±59	157 kPa ±68	242 kPa ±85

Tab. 52: Mittlerer Druck in kPa (Mittelwert \pm Standardabweichung) der linken und rechten Hintergliedmasse, der Klauen und der Zonen bei maximaler Verschiebung des Körpergewichts auf die rechte Hintergliedmasse **vor** Klauenpflege.

linke Hintergliedmasse				rechte Hintergliedmasse			
122 kPa \pm 37				259 kPa \pm 72			
Aussenklaue		Innenklaue		Innenklaue		Aussenklaue	
88 kPa \pm 38		143 kPa \pm 64		113 kPa \pm 59		332 kPa \pm 100	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
70 kPa \pm 34	67 kPa \pm 67	136 kPa \pm 74	122 kPa \pm 98	112 kPa \pm 50	102 kPa \pm 86	220 kPa \pm 106	396 kPa \pm 121

Tab. 53: Mittlerer Druck in kPa (Mittelwert \pm Standardabweichung) der linken und rechten Hintergliedmasse, der Klauen und der Zonen bei maximaler Verschiebung des Körpergewichts auf die rechte Hintergliedmasse **nach** Klauenpflege. *= signifikanter Unterschied vor/nach Klauenpflege.

linke Hintergliedmasse				rechte Hintergliedmasse			
120 kPa \pm 44				270 kPa \pm 69			
Aussenklaue		Innenklaue		Innenklaue		Aussenklaue	
91 kPa \pm 45		137 kPa \pm 60		118 kPa \pm 45		351 kPa \pm 98	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
83 kPa \pm 51	65 kPa \pm 63	145 kPa \pm 71	110 kPa \pm 74	129 kPa \pm 61	88 kPa \pm 58	260 kPa \pm 101	411 kPa \pm 128

Tab. 54: Mittlerer Maximaldruck in kPa (Mittelwert \pm Standardabweichung) der linken und rechten Hintergliedmasse, der Klauen und der Zonen bei der Ausgangsposition **vor** Klauenpflege.

linke Hintergliedmasse				rechte Hintergliedmasse			
972 kPa \pm 258				1109 kPa \pm 349			
Aussenklaue		Innenklaue		Innenklaue		Aussenklaue	
840 kPa \pm 305		678 kPa \pm 326		565 kPa \pm 342		1062 kPa \pm 354	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
436 kPa \pm 213	809 kPa \pm 328	533 kPa \pm 270	547 kPa \pm 331	413 kPa \pm 208	472 kPa \pm 372	550 kPa \pm 300	1039 kPa \pm 368

Tab. 55: Mittlerer Maximaldruck in kPa (Mittelwert \pm Standardabweichung) der linken und rechten Hintergliedmasse, der Klauen und der Zonen bei der Ausgangsposition **nach** Klauenpflege, *= signifikanter Unterschied vor/nach Klauenpflege.

linke Hintergliedmasse				rechte Hintergliedmasse			
995 kPa \pm 301				1009 kPa \pm 239			
Aussenklaue		Innenklaue		Innenklaue		Aussenklaue	
919 kPa \pm 345		621 kPa \pm 258		642 kPa \pm 292		967 kPa \pm 270	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
566 kPa \pm 261 *	860 kPa \pm 376	509 kPa \pm 245	483 kPa \pm 250	543 kPa \pm 305 *	453 kPa \pm 276	598 kPa \pm 276	929 kPa \pm 283

Tab. 56: Mittlerer Maximaldruck in kPa (Mittelwert \pm Standardabweichung) der linken und rechten Hintergliedmasse, der Klauen und der Zonen bei maximaler Verschiebung des Körpergewichts auf die rechte Hintergliedmasse **vor** Klauenpflege.

linke Hintergliedmasse				rechte Hintergliedmasse			
686 kPa \pm 331				1526 kPa \pm 434			
Aussenklaue		Innenklaue		Innenklaue		Aussenklaue	
372 kPa \pm 207		626 kPa \pm 368		492 kPa \pm 344		1502 kPa \pm 430	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
250 kPa \pm 164	243 kPa \pm 257	514 kPa \pm 335	447 kPa \pm 359	378 kPa \pm 178	357 kPa \pm 392	898 kPa \pm 429	1472 kPa \pm 449

Tab. 57: Mittlerer Maximaldruck in kPa (Mittelwert \pm Standardabweichung) der linken und rechten Hintergliedmasse, der Klauen und der Zonen bei maximaler Verschiebung des Körpergewichts auf die rechte Hintergliedmasse **nach** Klauenpflege, *= signifikanter Unterschied vor/nach Klauenpflege.

linke Hintergliedmasse				rechte Hintergliedmasse			
650 kPa \pm 280				1512 kPa \pm 306			
Aussenklaue		Innenklaue		Innenklaue		Aussenklaue	
395 kPa \pm 221		601 kPa \pm 307		571 kPa \pm 299		1500 kPa \pm 317	
Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone	Sohlenzone	Ballenzone
287 kPa \pm 193	249 kPa \pm 261	521 kPa \pm 291	406 kPa \pm 304	481 kPa \pm 292	344 kPa \pm 280	1004 kPa \pm 400	1460 kPa \pm 344

Der Innenklaue der rechten und linken Hintergliedmassen trugen bei maximaler Verschiebung des Körpergewichts vor und nach Klauenpflege je zwischen 13% und 15% der Gesamtgewichtskraft. Nach Klauenpflege war die Gewichtskraft auf den Sohlenzonen der Innenklauen aber tendenziell höher als auf der Ballenzone. Vor Klauenpflege war die Ballenzone der Innenklaue noch stärker belastet als die Sohlenzone (Tab. 44 und Tab. 45).

6.2.5.2. Flächen der Sohlenabdrücke

Die Auftrittsflächen bei der Ausgangsposition vor und nach Klauenpflege waren an der linken Hintergliedmasse nicht signifikant (Tab. 46 und Tab. 47). Bei der rechten Hintergliedmasse war aber die Auftrittsfläche der Aussenklaue vor Klauenpflege signifikant grösser als nach Klauenpflege. Die Fläche verkleinerte sich durch Klauenpflege von $5065 \text{ mm}^2 \pm 744$ auf $4675 \text{ mm}^2 \pm 786$. Bei maximaler Verschiebung der Gewichtskraft auf die rechte Hintergliedmasse war diese Auftrittsfläche vor- und nach Klauenpflege nicht mehr signifikant unterschiedlich (Tab. 48. Und Tab. 49). Die Ballenzone der Aussenklaue der rechten Hintergliedmasse war aber bei der Ausgangsposition sowie auch bei maximaler Verschiebung des Körpergewichts vor Klauenpflege signifikant grösser als nach Klauenpflege.

6.2.5.3. Mittlere Drücke

Wie bereits bei den Gewichtskräften festgestellt werden konnte, unterschied sich die Sohlenzone der Aussenklaue der linken Hintergliedmasse vor und nach Klauenpflege bei der Ausgangsposition signifikant (Tab. 50 und Tab. 51). Dieser signifikante Unterschied war auch beim mittleren Druck feststellbar. Der mittlere Druck auf der Sohlenzone der Aussenklaue der linken Hintergliedmasse betrug vor Klauenpflege $116 \text{ kPa} \pm 49$, nach Klauenpflege $149 \text{ kPa} \pm 64$. Bei maximaler Verschiebung des Körpergewichts war dieser Unterschied nicht mehr feststellbar. Da betrug der mittlere Druck in der oben erwähnten Zone vor Klauenpflege $70 \text{ kPa} \pm 34$ und nach Klauenpflege $83 \text{ kPa} \pm 51$. Weiterhin waren keine signifikanten Unterschiede der mittleren Drücke vor und nach Klauenpflege feststellbar. Der höchste mittlere Druck bei maximaler Verschiebung des Körpergewichts war vor- sowie auch nach Klauenpflege in der Ballenzone der Aussenklaue der vermehrt belasteten rechten Hintergliedmasse zu finden (Tab. 52 und Tab. 53). Vor Klauenpflege betrug dieser mittlere Druck $396 \text{ kPa} \pm 121$, nach Klauenpflege $411 \text{ kPa} \pm 128$.

6.2.5.4. Maximaldruck

Der Maximaldruck war vor und nach Klauenpflege bei maximaler Gewichtsverschiebung auf keiner Klaue oder Zone signifikant unterschiedlich (Tab. 56 und Tab. 57). Signifikante Unterschiede waren aber bei der Ausgangsposition bei den Zonen zu finden (Tab. 54 und Tab. 55). Die Aussenklaue der

linken Hintergliedmasse wies bei der Ausgangsposition nach Klauenpflege (919 kPa \pm 345) einen tendenziell höheren Maximaldruck als vor Klauenpflege (840 kPa \pm 305) auf. Bei der Sohlenzone der Aussenklaue konnte nach Klauenpflege ein signifikant höherer Maximaldruck gemessen werden, wobei auch die Ballenzone derselben Klaue ebenfalls einen tendenziell höheren Maximaldruck nach Klauenpflege im Vergleich zu vor Klauenpflege aufwies. Weiterhin war der Maximaldruck auf der Sohlenzone der Innenklaue der rechten Hintergliedmasse bei der Ausgangsposition nach Klauenpflege signifikant höher als vor Klauenpflege. Hier wurde aber der Maximaldruck der Ballenzone der Innenklaue durch Klauenpflege gesenkt. Bei maximaler Verschiebung des Körpergewichts nach rechts war der höchste Maximaldruck auf den Zonen sowohl vor als auch nach Klauenpflege auf der Ballenzone der Aussenklaue der rechten Hintergliedmasse zu finden. Dieser betrug vor Klauenpflege 1472 kPa \pm 449 und nach Klauenpflege 1460 kPa \pm 344.

7. Diskussion

Mit der hier vorgelegten Untersuchung sollte festgestellt werden, ob die Stellung der Hintergliedmassen bei Kühen einen Einfluss auf die Belastung der Klauen der Hintergliedmassen hatte. Zusätzlich von Interesse war die Verteilung der Gewichtskraft und des Druckes, wenn die vermehrte Belastung einer Hintergliedmasse induziert wurde.

Durch die Messungen konnte gezeigt werden, dass nur relativ kleine Unterschiede der Kraft-, Druck- und Maximaldruckverteilung auf den Klauen zwischen Kühen mit unterschiedlichen Stellungen der Hintergliedmassen bestanden. Bei Kühen mit fassbeiniger Stellung der Hintergliedmassen war die Mehrbelastung der Aussenklaue sehr stark ausgeprägt. Die Kühe mit kuhhessiger Stellung der Hintergliedmassen wiesen die grösste Auftrittsfläche sowie eine vermehrte Belastung der Sohlenzone auf.

Bei Verschiebung des Körpergewichts auf eine Hintergliedmasse wurde dort die Aussenklaue, vor allem die Ballenzone der Aussenklaue, stark belastet. Die beiden Innenklauen übernahmen bei der Ausgangs- und der Verschiebeposition ähnliche prozentuale Anteile der Gewichtskraft ein. Die Belastung durch Gewichtskraft und Druck vorschob sich somit nahezu vollständig von der einen Aussenklaue auf die andere Aussenklaue.

7.1. Material und Methoden

Für die hier vorgelegte Untersuchung wurden die Kühe anhand ihrer Gliedmassenstellung ausgewählt und in Gruppen eingeteilt. Es wurden Kühe unterschiedlicher Rassen in die Untersuchung miteinbezogen, da eigenen Beobachtungen zufolge gewisse Gliedmassenstellungen bei gewissen Rassen gehäuft auftraten. Tatsächlich waren unter den Kühen mit Kuhhessigkeit gehäuft Kühe der Rasse Holstein Friesian vertreten. Kühe mit steiler Stellung der Sprunggelenke hingegen waren eher unter den Braunviehkühen zu finden (Tab. 58).

Tab. 58: Kreuztabelle mit Anzahl Tiere pro Rasse und der jeweiligen Gliedmassenstellung.

Rasse	Gliedmassenstellung				Gesamt
	normale Stellung der Hintergliedmassen	Steile Stellung der Sprunggelenke	Kuhhessige Stellung der Hintergliedmassen	Fassbeinige Stellung der Hintergliedmassen	
Braunvieh	3	9	2	1	15
Holstein Friesian	6	2	10	1	19
Red Holstein	3	1	0	1	5
Gesamt	12	12	12	3	39

Die Ursache für dieses gehäufte Auftreten einer Gliedmassenstellung innerhalb einer Rasse konnte nicht abschliessend geklärt werden. Eine Möglichkeit wäre eine unterschiedliche Prioritätensetzung bei den Selektionsmerkmalen der Zuchtverbände. Ein weiterer Faktor könnte die unterschiedliche Nutzung der Kühe dargestellt haben. In Bergregionen sowie in Sömmerungsgebieten wurden vermehrt Braunviehkühe gehalten, während Kühe der Rasse Holstein Friesian eher im Mittelland gehalten wurden. Damit Kühe im steilen Gelände gut zurechtkommen, ist ein «gutes Fundament» unabdingbar. Dies würde theoretisch eine Selektion der Kühe mit guter Klauenqualität sowie einer „korrekten“ Gliedmassenstellung nach sich ziehen.

Die Beurteilung der Gliedmassenstellung war mehrheitlich von der subjektiven Beurteilung abhängig. Das einzige Merkmal, das gemessen werden konnte, waren die Gelenkwinkel. Die Gruppeneinteilung war somit auch personenabhängig, wobei im Zweifelsfall immer mindestens zwei Personen an der Einteilung beteiligt waren. Teilweise waren Kühe nicht deutlich einer Gruppe zuzuordnen, da die Gliedmassen nicht zu jedem Zeitpunkt in der entsprechenden Stellung gehalten wurden. Solche Kühe wurden nicht in die Untersuchung aufgenommen.

Die Tieranzahl wurde vorausgehend mittels zu erwartender Unterschiede und einer Poweranalyse berechnet, jedoch waren die Messunterschiede kleiner als erwartet. Dies bedeutet, dass die Unterschiede klinisch eher weniger relevant sind, und dass für einen statistisch signifikanten Unterschied die Tieranzahl hätte grösser sein müssen. Die Erhöhung der Tierzahl bis zum Erreichen eines signifikanten Unterschiedes stünde dabei wohl in umgekehrter Korrelation zur klinischen Bedeutung des Unterschiedes. Die geringe Tieranzahl bei der fassbeinigen Stellung der Hintergliedmassen beruhte auf der Schwierigkeit, Kühe mit dieser besonderen Gliedmassenstellung zu finden. Die drei fassbeinigen Kühe waren am Beginn der Laktation und wiesen ein Ödem des Euters oder ein sehr pralles Euter auf. Eventuell normalisierte sich die Fassbeinigkeit mit Abnahme der Eutergrösse oder des Euterödems, und wird allenfalls mit zunehmendem Alter seltener. Die fassbeinige Stellung der Hintergliedmassen wäre dann kein dauerhafter Zustand. Wenn die Fassbeinigkeit jedoch bei Kühen in der Früh-laktation regelmässig vorkommen würde, wäre dies – über die stark vermehrte Belastung der Aussenklauen – ein weiterer Faktor für die Entstehung von mechanisch-traumatischen Klauenerkrankungen. Ein anderer Faktor wurde von Lischer et al. (2000) beschrieben. Dabei erlitten Kühe mit starken Ödemen um den Geburtstermin eine Durchblutungsstörung der Gliedmassen sowie der Klauen, dadurch wäre das Risiko, an Klauenrehe zu erkranken, erhöht.

Der Pflegezustand der Klauen sowie der Zeitpunkt der letzten Klauenpflege unterschieden sich zwischen den Kühen teilweise stark, was den gemessenen Effekt der Klauenpflege beeinflusste. In einer vorangegangenen Untersuchung zum Effekt der Klauenpflege wurde darauf geachtet, dass die letzte Klauenpflege über sechs Monate her war (Kehler and Gerwing, 2004); dieses Kriterium konnte in der hier vorgelegten Untersuchung nicht angewendet werden.

Der Aufbau des Messstandes und der Rampen als Zugang zum Messstand wurde für die Kühe so optimal wie möglich für einen stressfreien und trittsicheren Einstieg gestaltet. Mit dem Gefühl des sicheren Stehens belasteten die Kühe ihre Gliedmassen vermutlich natürlich. Durch die gleichzeitige Messung beider Hintergliedmassen, die mit dem verwendeten System möglich war, war eine ungleiche Gewichtsverteilung auf die Gliedmassen sofort erkennbar und wurde durch leichtes Umplatzieren der Beine (Antippen, Schieben) korrigiert. Ein zusätzlicher Vorteil der simultanen Messung zweier Gliedmassen war die Möglichkeit, Fragestellungen, die beide Gliedmassen betrafen (z.B. Verschiebung des Körpergewichtes), beantworten zu können. Die Auswahl der auszuwertenden Messung wurde aufgrund der Gewichtsverteilung auf der rechten und linken Hintergliedmasse aus drei Messungen getroffen. Trotzdem war die Gewichtsverteilung bei keiner Messung exakt 50% : 50%. Für die Auswertung und Beurteilung des Einflusses der Gliedmassenstellung auf die Klauenbelastung war es von Vorteil, die Messwerte der rechten und linken Hintergliedmasse zu poolen und zu mitteln. Die Werte für den Vergleich wurden dadurch präziser und weniger Bias anfällig durch ungleiches Belasten der rechten und linken Hintergliedmasse.

Das Messsystem war grundsätzlich nicht für den Gebrauch bei Tieren mit Klauen aus Horn konzipiert, speziell nicht für schwere Tiere wie Kühe. Die Drucksensoren wurden in Vorgängeruntersuchungen durch das Gewicht und die Scherkräfte bei Bewegung der Kühe teilweise beschädigt und die Genauigkeit der Messwerte war nicht mehr gewährleistet. Durch regelmässiges Kontrollieren des Abdruckes der eigenen Fusssohle konnte in der hier vorgelegten Untersuchung ein Nachlassen der Funktionstüchtigkeit der Drucksensoren jedoch früh erkannt und durch Wechsel der Druckmessplatte (einmal während des Untersuchungszeitraums) behoben werden. Bisher wurde kein Kontrollsystem für die Schädigung der Drucksensoren beschrieben (Bruderer, 2015; Gerwing, 2003; van der Tol et al., 2004).

Die erhaltenen Abdrücke der Auftrittsfläche erlaubten es nicht, vier bis sechs unterschiedliche Zonen zu unterscheiden, wie es teilweise in vorangegangenen Untersuchungen möglich war (Carvalho et al., 2005; Spielmann, 1990; van der Tol et al., 2002). Die gemessene Auftrittsfläche entsprach nicht zwingend der gesamten Sohlenfläche und somit waren nur zwei Zonen zuverlässig erkennbar. Diese Zoneneinteilung war ein Rückschritt gegenüber der Einteilung anderer Untersuchungen, aber für die Beurteilung der Verteilung der Belastung zwischen Aussen- und Innenklaue sowie Sohlen- und Ballenzone war die Einteilung geeignet und zuverlässig. Die Probleme, die van der Tol et al. (2002) bei der Zoneneinteilung beschrieben, konnten so umgangen werden. Die erhaltenen Messwerte in Newton waren von der Körpermasse der jeweiligen Kuh abhängig. Damit ein Vergleich der Gewichtskraft überhaupt möglich wurde, wurde aus den Mittelwerten der Messungen in Newton ein Prozentwert errechnet. Der Prozentwert konnte unabhängig von den Körpermassen der Kühe verglichen werden. Eine andere Möglichkeit wäre die Auswahl von Kühen gewesen, die eine geringere Varianz der Körpermasse aufgewiesen hätten. Beim Mitbeinbezug unterschiedlicher Rassen wäre dies aber schwierig gewesen.

7.2. Resultate

7.2.1. Vergleich der Gliedmassenstellungen

Die Aussenklaue trug bei allen Gliedmassenstellungen signifikant mehr Gewichtskraft als die Innenklaue. Dabei war die Ballenzone der Aussenklaue bei allen Gliedmassenstellungen die Zone mit der höchsten Gewichtskraftbelastung, dem höchsten mittleren Druck sowie dem höchsten Maximaldruck. Durch Klauenpflege konnte dies nicht geändert werden. Die Auftrittsfläche der Aussenklaue war bei jeder Gruppe signifikant grösser als die Auftrittsfläche der Innenklaue. Die Mehrbelastung der Aussenklaue war bei Kühen mit fassbeiniger Stellung der Hintergliedmassen sehr deutlich ausgeprägt. Die Aussenklaue trug dabei 82% der Gesamtgewichtskraft vor und 87% nach Klauenpflege. Diese Stellung der Hintergliedmasse schien aber vor allem anfangs Laktation durch die Grösse des Euters und das Ausmass des Euterödems bedingt zu sein. Daraus resultiert, dass Kühe zu Beginn der Laktation eine höhere Anfälligkeit auf Klauenerkrankungen aufweisen, je grösser das Euter oder das Euterödem ist. Die Gliedmassenstellung war in der hier vorgelegten Untersuchung mittels Klauenpflege nicht veränderbar.

Bei Kühen mit steiler Stellung der Sprunggelenke lag vor der Klauenpflege tendenziell mehr Kraft auf der Ballenzone der Innenklaue als bei Kühen mit normaler Gliedmassenstellung, jedoch wurde diese Mehrbelastung durch funktionelle Klauenpflege wieder aufgehoben. Dadurch sank der Maximaldruck auf der Innenklaue signifikant und ein prozentual höherer Anteil der Gewichtskraft verteilte sich auf die Aussenklaue. Diese Umverteilung bewirkte einen Anstieg des mittleren und maximalen Druck in der Ballenzone der Aussenklaue. Diese Besonderheit war nur bei den Kühen mit steilen Sprunggelenken festzustellen, so dass es möglich ist, dass die Klauenpflege bei ihnen sich ungünstig auf die Aussenklauen auswirkt. Daher müsste bei ihnen besonders auf die Entlastung des Ballens der Aussenklaue geachtet werden.

Die Auftrittsfläche der Kühe mit steiler Stellung der Sprunggelenke verkleinerte sich durch funktionelle Klauenpflege deutlich stärker als bei Kühen mit normaler Gliedmassenstellung. Dies hatte zur Folge, dass der mittlere Druck der gesamten Hintergliedmasse signifikant anstieg. Als Ursache dafür konnte man die Klauenform vor Klauenpflege ansehen. Kühe mit steiler Stellung der Sprunggelenke wiesen eher steile Klauen mit kurzer Dorsalwand auf. Die Sohle war dabei stets sehr plan. Bei der Klauenpflege konnte nur sehr wenig Horn entfernt, teilweise sogar nur die Hohlkehlung geschnitten werden. Die Auftrittsfläche der Aussenklaue schrumpfte somit um die Fläche der Hohlkehlung, vergrösserte sich aber durch die Pflege der restlichen Sohlenfläche nicht. Anders lagen die Verhältnisse bei den Kühen mit kuhhessiger Stellung der Hintergliedmassen. Sie wiesen flache Klauen mit langer Dorsalwand und eine sehr grosse Auftrittsfläche auf. Die Auftrittsfläche wurde zwar durch die Klauenpflege stärker verkleinert als bei anderen Gruppen, aber war mit 84 cm² nach Klauenpflege dennoch grösser als die Auftrittsfläche bei anderen Gliedmassenstellungen. Die Kühe mit kuhhessiger Stellung

der Hintergliedmassen hatten bereits vor Klauenpflege einen höheren Anteil an Gewichtskraft auf den Sohlenzonen und einen tieferen mittleren Druck als Kühe mit normaler Gliedmassenstellung. Es war unklar, warum die Kühe mit kuhhessiger Stellung der Hintergliedmassen eine günstigere Verteilung der Kraft aufwiesen. Durch Klauenpflege konnte die Ballenzone der Aussenklaue bei beiden Gliedmassenstellungen entlastet werden, jedoch verlagerte sich bei den Kühen mit kuhhessiger Stellung der Hintergliedmasse mehr Gewichtskraft auf die Sohlenzone, sodass diese schliesslich signifikant mehr Gewichtskraft trug als die Sohlenzone der Aussenklaue bei Kühen mit normaler Gliedmassenstellung. Als Folge davon war der mittlere Druck auf der Sohlenzone der Aussenklaue signifikant höher. Bei den Kühen mit kuhhessiger Gliedmassenstellung war also genügend Horn vorhanden, damit durch die Klauenpflege eine Umverteilung der Gewichtskraft, weg von der Ballenzone hin zur Sohlenzone, erreicht werden konnte. Adspektorisch konnte aber keine Normalisierung der Gliedmassenstellung festgestellt werden. Es scheint so, als ob die Gliedmassenstellung einen Einfluss auf die Klauenform und Auftrittsfläche ausüben würde. Die Klauenform und Auftrittsfläche wiederum haben Einfluss auf die Kraftverteilung, die Höhe der mittleren und maximalen Drücke sowie auf die Möglichkeit einer Korrektur bei Klauenpflege. Allerdings schien die steile Gliedmassenstellung hinsichtlich der Klauenbelastung sogar ungünstiger zu sein als die kuhhessige.

7.2.2. Gewichtsverschiebung

Bei der Verschiebung des Körpergewichts auf eine Gliedmasse übernahm wie erwartet die Aussenklaue der vermehrt belasteten Gliedmasse den grössten Anteil, aber mit einem überraschend hohen Anteil von 64% der Gesamtgewichtskraft der beiden Hintergliedmassen. Die Ballenzone allein trug dabei 46% der Gesamtgewichtskraft, während die Sohlenzone der Aussenklaue 18% der Gewichtskraft übernahm. Somit lag nahezu die Hälfte der Gewichtskraft der Hintergliedmassen zum Zeitpunkt der maximalen Gewichtsverschiebung auf der Ballenzone der Aussenklaue. Die beiden Innenklauen übernahmen zu diesem Zeitpunkt mit 14% und 13% etwa gleichviel Gewichtskraft, während die Aussenklaue der entlasteten Gliedmasse nur noch 9% der Gesamtgewichtskraft übernahm. Toussaint Raven (1971) lag somit mit seinen errechneten Prozentwerten bei Verlagerung des Körpergewichts nicht falsch. Er hatte die Theorie aufgestellt, dass bei einer Gewichtsverschiebung beide Innenklauen gleichmässig viel Gewicht aufnehmen, was durch die Messungen in der hier vorliegenden Untersuchung bestätigt werden konnte. Jedoch waren seine Berechnungen im Hinblick auf die Überlastung der Aussenklaue mit 36% der Gewichtskraft zu optimistisch; nach der hier vorgelegten Untersuchung wurden 64% von der Aussenklaue übernommen. Auch die Belastung der Innenklauen setzte er mit 24% zu hoch an. Zusätzlich konnte durch unsere Messungen festgestellt werden, dass sich die Werte für die Zonen der Aussen- und Innenklaue in jeweils gegensätzliche Richtungen bewegten. Die beiden Innenklauen, die durch die Gewichtsverschiebung im Gegensatz zur Ausgangsposition leicht entlastet wurden, nahmen mehr Kraft auf die Sohlenzone als auf die Ballenzone auf. Die stärker belastete Aus-

senklaue hingegen nahm die Gewichtskraft vor allem in der Ballenzone auf, während der Ballen der entlasteten Aussenklaue sich an hob und entlastet wurde. Vermutlich induziert durch die elastische Verbindung der Aussen- und Innenklaue konnte also so die Sohlenzone der Innenklauen vermehrt belastet werden, während die Ballenzone der Aussenklauen vermehrt belastet wurde. Dieser Effekt wurde auch bei den durch die Sensoren registrierten Fussungsflächen sichtbar. Die Flächen der Sohlenzonen der Innenklauen waren bei maximaler Gewichtsverschiebung ähnlich gross wie ihre Ballenzonen, die bei der Ausgangsposition deutlich grösser gewesen waren. Die Auftrittsfläche korrelierte somit mit der belastenden Gewichtskraft. Zusätzlich konnte man daraus schliessen, dass die Ballenzonen bei leichtem Entlasten der Gliedmasse vor den Sohlenzonen entlastet wurden. Bei Mehrbelastung der Gliedmasse wurde die Ballenzone aber stärker belastet als die Sohlenzone. Vereinfacht gesagt, verschob sich die Belastung bei der Gewichtsverschiebung nahezu direkt von der Ballenzone der einen Aussenklaue auf die Ballenzone der anderen Aussenklaue. Dabei wurde der Ballen der Aussenklaue der entlasteten Gliedmasse, wie oben erwähnt, leicht angehoben und der der Aussenklaue der belasteten vermehrt auf den Boden gedrückt. Somit kann vermutet werden, dass im Moment der maximalen Gewichtsverlagerung auch das Tuberculum flexorium maximal nach distal gedrückt wird. Da bei festem Untergrund, wie in der heutigen Laufstallhaltung der Fall, das aufgeweichte Ballenhorn gegenläufig zu diesem Absinken des Klauenbeins eingedrückt wird, wird die Lederhaut im Ballenbereich der Aussenklaue im Verlauf der Gewichtsverschiebung einem grossen Risiko der Traumatisierung ausgesetzt. Die signifikante und klinische relevante Mehrbelastung und Druckerhöhung bei der Gewichtsverschiebung von einer Hintergliedmasse auf die andere konnte durch die hier vorgelegte Untersuchung dokumentiert werden. Sie liefert daher weitere Belege dafür, dass dies einen wichtigen Faktor in der Entstehung des Rusterholzschen Sohlengeschwürs darstellt (Rusterholz, 1920; Toussaint Raven, 1998). Dass die Belastungen von einer Aussenklaue «direkt» auf die andere Aussenklaue verschoben wurden, während sich die Verhältnisse an den Innenklauen nicht änderten, weist erneut auf die Bedeutung des Längenunterschiedes zwischen Aussen- und Innenzehe (Muggli et al., 2011; Nuss and Paulus, 2006) hin.

Durch funktionelle Klauenpflege konnte die auffallende Verlagerung der Gewichtskraft auf die Ballenzone der Aussenklaue bei der Gewichtsverlagerung auf eine Hintergliedmasse nicht verändert werden. Die signifikanten Unterschiede vor- und nach Klauenpflege bei Kraft-, Fläche-, Druck-, und Maximaldruck waren jedoch bei der Ausgangsposition feststellbar. Bei der Ausgangssituation konnte teilweise eine Verlagerung der Gewichtskraft weg von der Ballenzone hin zur Sohlenzone durch die Klauenpflege erreicht werden. Waren aber die Zonen bei der Ausgangsposition noch signifikant unterschiedlich belastet, so waren diese Unterschiede bei maximaler Verschiebung des Körpergewichts sowohl vor- als auch nach Klauenpflege aufgehoben. Eine Ausnahme war die Auftrittsfläche der Ballenzone der vermehrt belasteten rechten Hintergliedmasse. Bereits bei der Ausgangsposition wurde sichtbar, dass diese Ballenzone durch Klauenpflege signifikant verkleinert wurde. Durch die Verlagerung des Körpergewichts auf diese Gliedmasse nahmen zwar die Auftrittsfläche der Aussenklaue insgesamt

sowie die Auftrittsfläche der Ballenzone mit der vermehrten Belastung zu, jedoch blieb die Auftrittsfläche signifikant kleiner als vor Klauenpflege. Als Folge davon stieg der mittlere Druck in dieser Zone bei maximaler Verschiebung nach Klauenpflege stärker an als vor Klauenpflege. Deswegen kann festgestellt werden, dass durch Klauenpflege keine Entlastung der stark belasteten Aussenklaue sowie deren Ballenzone bei Verschiebung des Körpergewichts zur einen Körperseite erreicht werden konnte.

7.2.3. Gelenkwinkel

Nach bisherigen Angaben liegt der dorsale Sprunggelenkwinkel bei Kühen zwischen 151° und 155° (Fessler, 1974; Herlin and Drevemo, 1997). In der hier vorliegenden Untersuchung mass der dorsale Sprunggelenkwinkel bei Kühen mit normaler Stellung der Hintergliedmasse jedoch zwischen 163° und 165° . Diese Werte lagen somit über dem Richtwert der Zuchtverbände von 150° (Anonym, 2014) und 147° (Anonym, 2005; Greenough, 2007). Diese Angaben der Zuchtverbände warfen Fragen auf, denn sie entsprachen nicht den Messungen an den Kühen der entsprechenden Rassen. Es ist gut möglich, dass zwischen Messung des Gelenkwinkels und der subjektiven Beurteilung während der linearen Beschreibung eine Diskrepanz besteht und die Zuchtverbände die Steilstellung der Sprunggelenke unterschätzen, oder aber die Kriterien zur Schätzung differieren. Eventuell sollten die Sprunggelenkwinkel im Rahmen der linearen Beschreibung durch die Zuchtverbände an der Kuh gemessen werden, damit diese Diskrepanz behoben werden kann. Dabei sollten die Messpunkte allerdings genau und reproduzierbar definiert werden.

Der dorsale Fesselgelenkwinkel von 164° bis 165° bei Kühen mit normaler Stellung der Hintergliedmassen entsprach annähernd den Werten, die in vorangegangenen Untersuchungen gemessen wurden. Je nach Untersuchung wurden für den dorsalen Fesselgelenkwinkel Werte von 154° bis 162° (Fessler, 1974) oder $169^\circ \pm 4$ (Herlin and Drevemo, 1997) gemessen. Zu beachten galt dabei, dass die vorangegangenen älteren Untersuchungen den Gelenkwinkel indirekt an Videoaufnahmen massen. In der hier vorliegenden Untersuchung wurden die Messungen direkt am Bein der Kuh vorgenommen.

7.2.4. Effekt der Klauenpflege auf die Kühe mit normaler Gliedmassenstellung

Die Veränderungen der Kraft-, Flächen-, und Druckbelastung auf den Klauen durch funktionelle Klauenpflege wurden bisher kaum untersucht. Nur die Untersuchungen von Gerwing (2003) und van der Tol et al. (2004) wiesen vergleichbare Resultate auf. Durch die lückenhaften Angaben absoluter und relativer Zahlen in der Publikation von van der Tol et al. (2004) war diese Untersuchung nur begrenzt als Vergleich für die hier vorgelegte Untersuchung verwendbar. Zusätzlich herangezogen wurde die Untersuchung von Bruderer (2015), die sehr vollständige Angaben über absolute und relative

Zahlen beinhaltete, jedoch die Kühe nur nach Klauenpflege untersuchte. Von Interesse für den Vergleich des Effekts der Klauenpflege waren nur die Kühe mit normaler Stellung der Hintergliedmassen.

7.2.4.1. Kraftmessungen

Das Messresultat der Kraft auf einer Hintergliedmasse fiel ähnlich aus wie die Resultate anderer Untersuchungen. Die auf einer Hintergliedmasse lastende Gesamtkraft betrug zwischen 1416 N (eigene Untersuchung), 1434.5 N (Bruderer, 2015) und 1940 N (van der Tol et al., 2004). Aufgrund der Abhängigkeit der Gewichtskraft von der Körpermasse der Kühe wurden weiterhin gehäuft Angaben in Prozentzahlen dieser Gesamtgewichtskraft gemacht (Bruderer, 2015; Gerwing, 2003; Spielmann, 1990; van der Tol et al., 2004). Bei der vergleichenden Aufstellung der Prozentwerte vor Klauenpflege fiel auf, dass deren Verteilung zwischen Aussen- und Innenklaue nach Gerwing (2003) gleich wie bei der hier vorgelegten Untersuchung war. Van der Tol et al. (2004) stellten hingegen fest, dass vor Klauenpflege auf der Aussenklaue 80% der Gewichtskraft und auf der Innenklaue entsprechend 20% der Gewichtskraft lastete. Deutlich unterschiedlich zu anderen Autoren war in der hier vorgelegten Untersuchung die Verteilung der Gewichtskraft auf die Zonen. So mass Gerwing (2003) bereits vor Klauenpflege einen höheren Anteil der Gewichtskraft auf der Sohlenzone, während bei der hier vorgelegten Untersuchung die Gewichtskraft zu 51% auf der Ballenzone der Aussenklaue lag (Abb. 21).

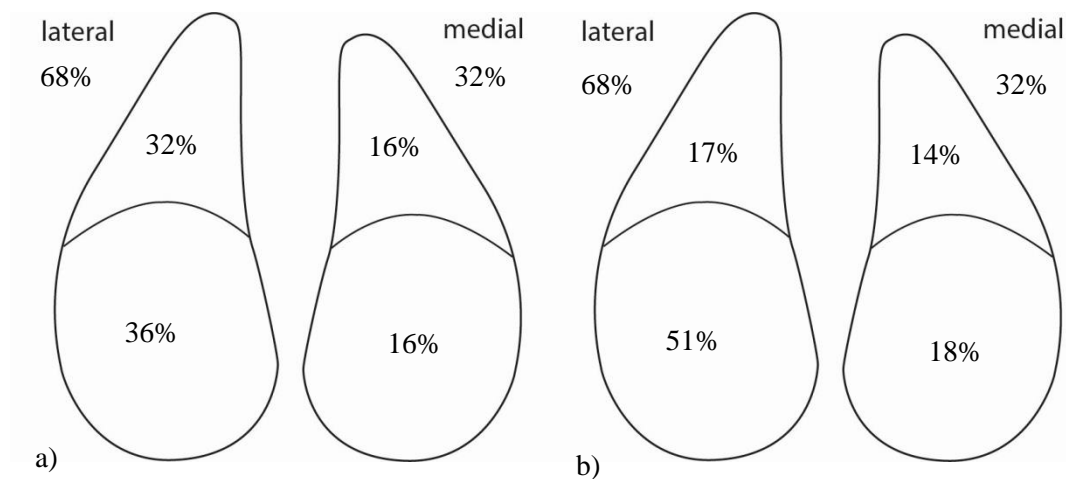


Abb. 22: Prozentuale Verteilung der Gewichtskraft auf den Klauen und den Zonen a) Gerwing (2003) vor Klauenpflege, b) Kühe mit normaler Gliedmassenstellung der hier vorliegenden Untersuchung vor Klauenpflege.

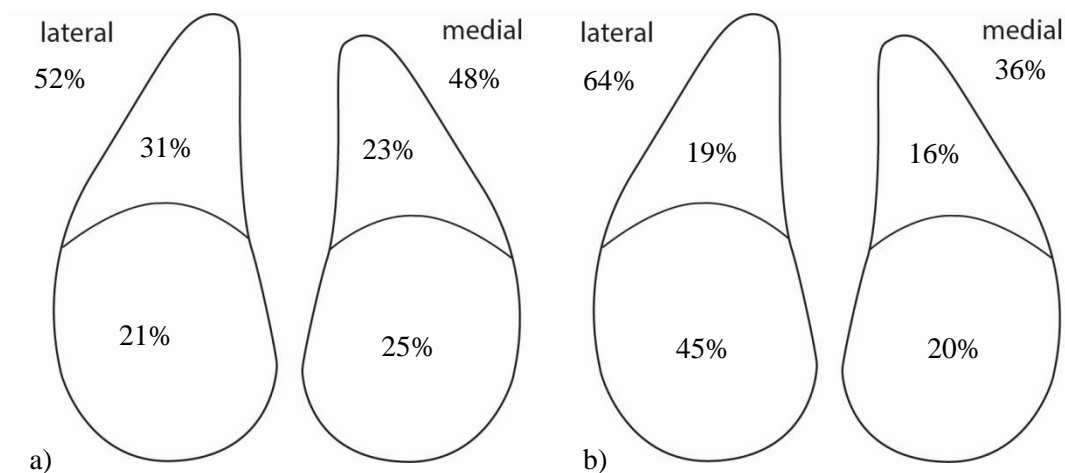


Abb. 23: Prozentuale Verteilung der Gewichtskraft auf den Klauen und Zonen a) Gerwing (2003) nach Klauenpflege, b) Kühe der hier vorliegenden Untersuchung mit normaler Gliedmassenstellung nach Klauenpflege.

Ziel der funktionellen Klauenpflege war es seit Toussaint Raven (1971), die Kraft gleichmässiger auf die Aussen- und Innenklaue zu verteilen und zusätzlich die stark belastete Ballenzone der Aussenklaue zu entlasten. Bei Gerwing (2003) gelang diese Umverteilung ausgeprägt, sodass die Ballenzone nach Klauenpflege den geringsten prozentualen Anteil der Gewichtskraft trug (Abb. 23). Im Vergleich dazu konnte in der hier vorgelegten Untersuchung ein geringerer Ausgleich zwischen Aussen- und Innenklaue erreicht werden. Auch trug die Ballenzone der Aussenklaue weiterhin den grössten Anteil an Gewichtskraft. Gerwing (2003) betonte jedoch, dass das oberste Ziel der in seiner Arbeit durchgeführten Klauenpflege die Entlastung der Aussenklaue war. So beliess er bei der funktionellen Klauenpflege die Innenklaue deutlich höher, was eine relative Verkleinerung der Auftrittsfläche der Innenklaue mit sich brachte. Die Ballenbereiche der Aussenklaue wurden stark gekürzt und somit entlastet. Das Ziel der Klauenpflege bei der hier vorgelegten Arbeit war das gleiche, aber zusätzlich sollte ein möglichst grosser Teil der Auftrittsfläche erhalten bleiben. So verteilte sich der Druck besser auf die Auftrittsfläche. Dabei konnte aber ein geringerer Ausgleich zwischen der Aussen- und Innenklaue sowie eine geringere Entlastung der Ballenzone erreicht werden. Auch van der Tol et al. (2004) erzielten einen vergleichsweise geringen Ausgleich durch Klauenpflege, da danach eine Gewichtskraftverteilung von 70% : 30% (Aussen- : Innenklaue) bestehen blieb.

7.2.4.2. Flächenmessungen

Die Sohlenfläche der Klauen einer Gliedmasse, in dieser Untersuchung auch als Auftrittsfläche bezeichnet, war mit 82.3 cm² vor Klauenpflege und 81.9 cm² nach Klauenpflege deutlich grösser als in vorangegangenen vergleichbaren Untersuchungen. So mass Bruderer (2015) eine Fläche von 40.4 cm² für die Hintergliedmasse und 26.6 cm² für die Aussenklaue und 14.6 cm² für die Innenklaue. Gerwing (2003) konnte vor Klauenpflege eine Fläche von 46.98 cm², van der Tol et al. (2004) eine Auftrittsfläche von 27.5 cm² feststellen. Gerwing (2003) erhielt somit ähnliche Werte wie Bruderer (2015). Die

Messsysteme dieser drei Untersuchungen waren mit dem der hier vorgelegten Untersuchung vergleichbar. Da in den drei vorgenannten Untersuchungen keine Angaben zur Kontrolle dieser Drucksensoren gemacht wurden, bestand die Möglichkeit einer Beschädigung der Drucksensoren durch die Scherkräfte und das Körpergewicht der Kühe. Ebenfalls bestand ein zeitlicher Abstand zwischen den Untersuchungen. Es war somit möglich, dass die Technologie der Messsysteme über die Zeit Fortschritte in Bezug auf die Messgenauigkeit gemacht haben. Mit direkten Messungen der Sohlenfläche (Nuss und Paulus 2006) wurden 80.03 cm² für die Sohlenflächen der Hinterbeine bei Kühen <36 Monate und 100.57 cm² für Kühe >36 Monate festgestellt. Dies stimmt eher mit den Resultaten der hier vorgelegten Untersuchung überein, wobei berücksichtigt werden muss, dass in der zitierten Untersuchung keine Hohlkehlung geschnitten und in die Messung die ganze Sohlenfläche und nicht nur die Auftrittsfläche miteinbezogen wurde. Festzuhalten ist, dass die durch die Drucksensoren registrierten Flächen bisher nicht unbedingt mit der Auftrittsfläche oder der belasteten Fläche gleichzusetzen sind und dass in dieser Hinsicht Verbesserungen des Messsystems erforderlich sind.

Durch funktionelle Klauenpflege konnte die Fläche bei Gerwing (2003) und van der Tol et al. (2004) sowie Nuss und Paulus (2006) vergrößert werden. Gegensätzliche Resultate wurden mit der hier vorgelegten Untersuchung erzielt. Die gesamte Auftrittsfläche der Hintergliedmasse wurde verkleinert, jedoch fand diese Abnahme nur an der Aussenklaue, nicht aber an der Innenklaue statt. Die Abnahme der Auftrittsfläche der Aussenklaue kann einerseits durch das Anbringen der Hohlkehlung im Rahmen der funktionellen Klauenpflege erklärt werden. Andererseits kam vermutlich die Innenklaue durch das Kürzen der Aussenklaue vermehrt in Kontakt mit dem Boden und so vergrößerte sich ihre Auftrittsfläche. Eventuell verkleinerte sich die Auftrittsfläche der Aussenklaue relativ, durch die Mehrbelastung der Innenklaue, wenn man davon ausgeht, dass die Auftrittsfläche mit der Belastung korrelierte.

Bei einer weiteren Untersuchung an Klauen post mortem wurde die Sohlenfläche der Aussenklaue bei Klauenpflege von 58 cm² auf 60 cm² vergrößert (Nuss und Paulus, 2006). Diese Grössenangaben waren den Werten ähnlich, die in der hier vorgelegten Untersuchung erhalten wurden. Wie oben erwähnt, wurde jedoch von Nuss und Paulus (2006) keine Hohlkehlung angelegt und die Sohlenfläche, nicht die belastete Sohlenfläche gemessen.

7.2.4.3. Druckmessungen

Die unterschiedlichen Messresultate der Auftrittsflächen wirkten sich auf die mittleren Drücke an den Klauen aus. So massen van der Tol et al. (2004) für eine Hintergliedmasse einen mittleren Druck von 50 N/cm². Auch Bruderer (2015) mass deutlich höhere Drücke als die, die in der vorliegenden Untersuchung festgestellt wurden. Diese reichten von 31.6 N/cm² für eine Hintergliedmasse bis zu 40 N/cm² im Ballenbereich der Aussenklaue einer Hintergliedmasse. In der hier vorgelegten Untersuchung betrug der mittlere Druck auf einer Gliedmasse von Kühen mit normaler Stellung der Hintergliedmassen

17.4 N/cm². Der Unterschied der mittleren Drücke ist wahrscheinlich mit der in den verschiedenen Untersuchungen stark unterschiedlichen Auftrittsfäche zu erklären. Ähnliche mittlere Drücke konnte Spielmann (1990) feststellen. Der mittlere Druck auf eine Hintergliedmasse betrug in seiner Untersuchung 15.1 N/cm² (Spielmann, 1990). Spielmann (1990) konnte auf der Aussenklaue einen höheren mittleren Druck als auf der Innenklaue feststellen, obwohl die Auftrittsfäche der Aussenklaue grösser war. Diese Messergebnisse wurden durch die hier vorliegende Untersuchung, und auch von Gerwing (2003) bestätigt. Durch funktionelle Klauenpflege sank der mittlere Druck auf der Aussenklaue nach Gerwing (2003), der mittlere Druck der Innenklaue stieg gleichzeitig an. Dieser Effekt der Klauenpflege konnte in dieser Untersuchung ebenfalls gemessen werden. Der mittlere Druck auf der Innenklaue blieb aber auch nach funktioneller Klauenpflege kleiner als der mittlere Druck auf der Aussenklaue. Bei verschiedenen Untersuchungen (Bruderer, 2015; Gerwing, 2003; Telezhenko et al., 2009) wurde deutlich, dass die Ballenzone der Aussenklaue die Zone mit dem höchsten mittleren Druck darstellt. Dieser hohe mittlere Druck konnte durch Klauenpflege zwar etwas reduziert werden, blieb aber dennoch höher als der mittlere Druck der anderen Zonen.

Die Verteilung der mittleren Drücke auf die Klauen war in vorangegangenen Untersuchungen und in der hier vorliegenden Untersuchung identisch. Auch der Effekt der Klauenpflege auf die Veränderung der mittleren Drücke konnte nachvollzogen werden. Stark unterschiedlich war aber die Höhe der mittleren Drücke. Der Ursprung dieser Unterschiede lag in der gemessenen Auftrittsfäche. Die Gewichtskräfte auf der Hintergliedmasse von Bruderer (2015), Gerwing (2003) und der vorliegenden Untersuchung unterschieden sich kaum, waren aber nach Bruderer (2015) und nach Gerwing (2003) auf eine viel kleinere Auftrittsfäche verteilt als in der hier vorgelegten Untersuchung. Die daraus resultierenden Unterschiede in den Druckmessungen zeigten, wie wichtig eine möglichst grosse Auftrittsfäche der Klaue für eine Druckreduktion ist. Die Einschränkungen hinsichtlich der Verbesserung des Messsystems betreffen infolge der Abhängigkeit von der Fläche auch die Ergebnisse der Druckmessungen.

7.2.4.4. Maximaldruckmessungen

Der Maximaldruck, der vor Klauenpflege in der Ballenzone der Aussenklaue am höchsten war, konnte in dieser Zone durch die Klauenpflege gesenkt werden. Gleichzeitig stieg der Maximaldruck auf der Sohlenzone der Aussenklaue an, was insgesamt eine Erhöhung des Maximaldruckes auf der Aussenklaue bedeutete. Gerwing (2003) konnte durch Klauenpflege den Maximaldruck auf der Aussenklaue um 9.6 N/cm² senken. Der Maximaldruck stieg bei Gerwing (2003) auf der Innenklaue an. Bruderer (2015) wies den höchsten Maximaldruck ebenfalls auf der Ballenzone der Aussenklaue nach, er betrug 110 N/cm². Dieser Messwert war ähnlich dem Messwert der vorliegenden Untersuchung (90.6 N/cm²). Spielmann (1990) hingegen mass deutlich niedrigere Messwerte für den Maximaldruck. Die Unterschiede in der Höhe der Maximaldrücke zwischen Spielmann (1990) und Bruderer (2015) entstanden

eventuell durch die unterschiedlichen Messsysteme. Es ist möglich, dass modernere und besser an Klauen angepasste Messsysteme auch höhere Drücke messen können.

7.3. Schlussfolgerungen

Die Stellung der Hintergliedmassen hatte einen sehr geringen Einfluss auf die Kraft- und Druckverteilung auf den Klauen. Dies stellt den Einfluss der Gliedmassenstellung auf die Klauengesundheit, und damit die Bewertung des Fundaments für die Klauengesundheit, in Frage. Aus züchterischer Sicht sollte man jedoch den Trend, auf eine sehr steile Stellung der Hintergliedmassen zu züchten, nicht weiter verfolgen, denn überraschenderweise verlagerte sich nach der Klauenpflege die Gewichtskraft bei den Kühen mit steiler Stellung der Sprunggelenke noch mehr auf die Aussenklaue, während bei den Kühen mit normaler Gliedmassenstellung die Kraft auf die Innenklaue verlagert werden konnte. Die Sprunggelenkwinkel sollten künftig möglichst einheitlich gemessen werden, damit Empfehlungen Gültigkeit haben. Eine Winkelung der Sprunggelenke zwischen 160° und 165° wird anhand der Ergebnisse der hier vorgelegten Untersuchung als erstrebenswert angesehen.

Durch die Gliedmassenstellung wurde die Auftrittsfläche der Klaue deutlich beeinflusst. Durch grössere Klauenflächen konnte auch eine bessere Druckverteilung auf den Klauen erreicht werden. Die Klauenpflege verkleinerte die Auftrittsfläche der Aussenklaue. Dennoch blieb die Fläche gross und die Druckverteilung sowie die Verteilung des Maximaldruckes auf der Aussenklaue verbesserte sich. Zusätzlich war die Auftrittsfläche massgebend für die Korrekturmöglichkeiten durch Klauenpflege. So war bei den Kühen mit steiler Stellung der Sprunggelenke kaum Auftrittsfläche für eine Korrektur der Gewichtskraftverteilung vorhanden. Am ungünstigsten war die Gewichtskraftverteilung bei den Kühen mit fassbeiniger Stellung der Hintergliedmassen.

Die signifikante und klinische relevante Mehrbelastung beim Verschieben der Körpermasse von einer Hintergliedmasse auf die andere konnte erstmals in Einzelheiten dokumentiert werden. Die Hypothese von Toussaint Raven (1998) der starken Überlastung der Aussenklaue wird dadurch zwar bestätigt, gleichzeitig aber erweitert, da die Auswirkungen weitaus grösser waren als von ihm berechnet. Entscheidend ist wohl für die Entstehung des Rusterholzschens Sohlengeschwürs, dass die Belastungen von einer Aussenklaue «direkt» auf die andere verschoben wurden.

Ein Ausgleich der Gewichtskraftverteilung auf der Aussen- und Innenklaue ist wahrscheinlich nur durch stark vermehrtes Abschleifen der Aussenklaue und Höherlassen der Innenklaue möglich. Fraglich dabei ist, ob ein kompletter Ausgleich physiologisch ist. Grundsätzlich wäre es besser, den Boden unserer Haltungssysteme den Klauen der Kühe anzupassen anstatt die Klauen unphysiologisch zuzuschneiden, denn dadurch werden zwei Problemkreise aufrechterhalten.

8. Literaturverzeichnis

- Alsaad**, M., Niederhauser, J.J., Beer, G., Zehner, N., Schuepbach-Regula, G., Steiner, A., 2015. Development and validation of a novel pedometer algorithm to quantify extended characteristics of the locomotor behavior of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 98, 6236-6242.
- Alsleben**, B., Russke, A., Wrede, J., Hamann, H., Distl, O., 2003. Messungen der Druckverteilung unter den Klauen bei Rindern der Rasse Deutsche Holsteins in den ersten zwei Lebensjahren. *Der Praktische Tierarzt* 3, 232-240.
- Anacker**, G., 2004. Genetik, In: *Erkrankungen der Klauen und Zehen des Rindes*. Schattauer, Stuttgart, pp. 208-210.
- Andersen**, B.B., Madsen, P., Smedegaard, H.H., 1991. Genetic analysis of claw and leg traits in young bulls. *Beretning fra Statens Husdyrbrugsfors* 701, 52.
- Anonym**, 2005. International type evaluation of dairy cattle. World Holstein Friesian Federation. http://whff.info/documentation/documents/typetraits/type_en_2005-2.pdf, letzter Zugriff: 20.03.2018.
- Anonym**, 2013. Die lineare Beschreibung und Einstufung in der Schweiz. Holstein Association, LINEAR, A.G. http://linearsa.ch/wp-content/uploads/2014/04/brochure_dlc_linear_version30.08.13_Deutsch.pdf, letzter Zugriff: 20.03.2018.
- Anonym**, 2014. Exterieurbeurteilung, Lineare Beschreibung und Einstufung Kühe, Braunvieh Schweiz. https://homepage.braunvieh.ch/documents/Broschure_Exterieurbeurteilung-D.pdf, letzter Zugriff: 19.03.2018.
- Becker**, J., Steiner, A., Kohler, S., Koller-Bahler, A., Wuthrich, M., Reist, M., 2014. Lameness and foot lesions in Swiss dairy cows: II. Risk factors. *Schweizer Archiv für Tierheilkunde* 156, 79-89.
- Benz**, B., Wandel, H., Jungbluth, T., 2002. Yielding Walking Areas In Loose House Systems, In: *Proceedings of the 12th International Symposium on Lameness in Ruminants*, Orlando, FL, USA, pp. 280-283.
- Bergsten**, C., 2001. Effects of conformation and management system on hoof and leg diseases and lameness in dairy cows. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* 17, 1-23.
- Boettcher**, P.J., Dekkers, J.C., Warnick, L.D., Wells, S.J., 1998. Genetic analysis of clinical lameness in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 81, 1148-1156.
- Bruderer**, A. 2015. Klauenbelastung von Jungrindern und Kühen beim Stehen auf verschiedenen Gummimatten. Dissertation, Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich.
- Buenger**, A., Pasman, E., Rensing, S., Reinhardt, F., Reents, R., 2003. Effect of feet and leg traits and udder health on longevity. *Züchtungskunde* 75, 499-505.
- Capion**, N., Thamsborg, S.M., Enevoldsen, C., 2008. Conformation of hind legs and lameness in Danish Holstein heifers. *Journal of Dairy Science* 91, 2089-2097.

- Carvalho**, V.R.C., Bucklin, R.A., Shearer, J.K., Shearer, L., 2005. Effects of trimming on dairy cattle hoof weight bearing and pressure distributions. *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science* 43, 518-525.
- Chapinal**, N., Koeck, A., Sewalem, A., Kelton, D.F., Mason, S., Cramer, G., Miglior, F., 2013. Genetic parameters for hoof lesions and their relationship with feet and leg traits in Canadian Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 96, 2596-2604.
- Distl**, O., 1995. Züchterische Verbesserung von Fundamentmerkmalen und Klauengesundheit beim Rind. *Züchtungskunde* 67, 438-448.
- Distl**, O., 1996. Verbesserung von Gesundheit als neues züchterisches Ziel in der Selektion auf Fundamentmerkmale beim Rind. *Tierärztliche Umschau* 51, 331-340.
- Distl**, O., 1999. Zucht auf ein gesundes Fundament beim Milchrind. *Züchtungskunde* 71, 446-458.
- Fessl**, L., 1974. Activity of joints in cattle during walking. A contribution to movement analysis in cattle. *Deutsche Tierärztliche Wochenschrift* 81, 129-132.
- Fiedler**, A., Maierl, J., Nuss, K., 2004. Funktionelle Klauenpflege, In: *Erkrankungen der Klauen und Zehen des Rindes*. Schattauer, Stuttgart, 44-61.
- Flower**, F.C., Sanderson, D.J., Weary, D.M., 2005. Hoof pathologies influence kinematic measures of dairy cow gait. *Journal of Dairy Science* 88, 3166-3173.
- Franck**, A., De Belie, N., 2006. Concrete floor-bovine claw contact pressures related to floor roughness and deformation of the claw. *Journal of Dairy Science* 89, 2952-2964.
- Gerwing**, T.H. 2003. Beeinflussung der Lastverteilung durch Klauenpflege innerhalb der Einzelklauen und der Klauenpaare der Hintergliedmassen von schwarzbunten Milchkühen der Rasse Deutsche Holsteins. Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover.
- Greenough**, P.R., 2007. Genetic Selection and Conformation, In: *Bovine Laminitis and Lameness*. Saunders Elsevier, 141-154.
- Groenevelt**, M., Main, D.C., Tisdall, D., Knowles, T.G., Bell, N.J., 2014. Measuring the response to therapeutic foot trimming in dairy cows with fortnightly lameness scoring. *The Veterinary Journal* 201, 283-288.
- Herlin**, A.H., Drevemo, S., 1997. Investigating locomotion of dairy cows by use of high speed cinematography. *Equine Veterinary Journal. Supplement*, 106-109.
- Hodel**, S., 2015. Exterieurbeurteilung beim Braunvieh, persönliche Mitteilung an J. Müller, Mai-September 2015.
- Huth**, C., Russke, A., Alsleben, B., Hamann, H., Distl, O., 2004. Body and claw measurements and pressure distribution under the claws in calves of different cattle breeds. *Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift* 117, 316-326.
- Huth**, C., Russke, A., Alsleben, B., Hamann, H., Distl, O., 2005. Body and claw measurements as well as pressure distribution under the claws in heifers of different cattle breeds. *Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift* 118, 150-159.

- Kehler, W.,** Gerwing, T., 2004. Effects of functional claw trimming on pressure distribution under hind claws of german holstein cows, In: Proceedings of the 13th International Symposium and 5th Conference on Lameness in Ruminants, Maribor, Slovenija, 103-104.
- Keller, A.,** Clauss, M., Muggli, E., Nuss, K., 2009. Even-toed but uneven in length: the digits of artiodactyls. *Zoology (Jena)* 112, 270-278.
- Lischer, C.,** Geyer, H., Friedli, K., Ossent, P., Näf, I., Pjil, R., 2000. Handbuch zur Pflege und Behandlung der Klauen beim Rind, 2. Aufl. Landwirtschaftliche Lehrmittelzentrale, Zollikofen.
- Liu, J.,** Dyer, R.M., Neerchal, N.K., Tasch, U., Rajkondawar, P.G., 2011. Diversity in the magnitude of hind limb unloading occurs with similar forms of lameness in dairy cows. *The Journal of Dairy Research* 78, 168-177.
- Main, D.C.,** Stokes, J.E., Reader, J.D., Whay, H.R., 2012. Detecting hoof lesions in dairy cattle using a hand-held thermometer. *Veterinary Record* 171, 504.
- Mair, A.,** 1988. Druckverteilungsmessungen an der Sohlenfläche von Rinderklauen--grundlegende Untersuchungen mit einem neuartigen Messsystem. *Deutsche Tierärztliche Wochenschrift* 95, 325-328.
- Mair, A.** 1989. Untersuchung der Druckverteilung unter Rinderklauen mit bildverarbeitenden Methoden. Dissertation, Technische Universität München.
- Manske, T.,** Hultgren, J., Bergsten, C., 2002. The effect of claw trimming on the hoof health of Swedish dairy cattle. *Preventive Veterinary Medicine* 54, 113-129.
- Meyer, S.W.,** Weishaupt, M.A., Nuss, K.A., 2007. Gait pattern of heifers before and after claw trimming: a high-speed cinematographic study on a treadmill. *Journal of Dairy Science* 90, 670-676.
- Muggli, E.,** Sauter-Louis, C., Braun, U., Nuss, K., 2011. Length asymmetry of the bovine digits. *The Veterinary Journal* 188, 295-300.
- Nacambo, S.,** Haessig, M., Lischer, C., Nuss, K., 2007. Difference in the length of the medial and lateral metacarpal and metatarsal condyles in calves and cows - A post-mortem study. *Anatomia, Histologia, Embryologia* 36, 408-412.
- Nuss, K.,** Kolp, E., Braun, U., Weidmann, E., Hassig, M., 2014. Claw size of Scottish Highland Cows after pasture and housing periods. *Schweizer Archiv für Tierheilkunde* 156, 433-440.
- Nuss, K.,** Paulus, N., 2006. Measurements of claw dimensions in cows before and after functional trimming: a post-mortem study. *The Veterinary Journal* 172, 284-292.
- O'Callaghan, K.A.,** Cripps, P.J., Downham, D.Y., Murray, R.D., 2003. Subjective and objective assessment of pain and discomfort due to lameness in dairy cattle. *Animal Welfare* 12, 605-610.
- Onyiro, O.M.,** Brotherstone, S., 2008. Genetic analysis of locomotion and associated conformation traits of Holstein-Friesian dairy cows managed in different housing systems. *Journal of Dairy Science* 91, 322-328.
- Ossent, P.,** Peterse, D.J., Schamhardt, H.C., 1987. Distribution of load between the lateral and medial hoof of the bovine hind limb. *Zentralblatt für Veterinärmedizin. Reihe A* 34, 296-300.

- Pastell, M., Hanninen, L., de Passille, A.M., Rushen, J., 2010.** Measures of weight distribution of dairy cows to detect lameness and the presence of hoof lesions. *Journal of Dairy Science* 93, 954-960.
- Paulus, N. 2004.** Ermittlung von Hornschuh- und Lederhautabmessungen an den Klauen der Beckengliedmassen von Fleckviehrindern. Dissertation, Universität Zürich.
- Paulus, N., Nuss, K., 2006.** Differences in the dimensions of the lateral and medial claws of hind limbs in young bulls. *Tierärztliche Praxis (G)* 34, 86-93.
- Pluk, A., Bahr, C., Poursaberi, A., Maertens, W., van Nuffel, A., Berckmans, D., 2012.** Automatic measurement of touch and release angles of the fetlock joint for lameness detection in dairy cattle using vision techniques. *Journal of Dairy Science* 95, 1738-1748.
- Rajkondawar, P.G., Liu, M., Dyer, R.M., Neerchal, N.K., Tasch, U., Lefcourt, A.M., Erez, B., Varner, M.A., 2006.** Comparison of models to identify lame cows based on gait and lesion scores, and limb movement variables. *Journal of Dairy Science* 89, 4267-4275.
- Rüegsegger, F., Muggli, E., Nuss, K., 2015.** Asymmetry in digit length in cows with sole ulcer. A post-mortem study of slaughter cows. *Tierärztliche Praxis (G)* 43, 137-143.
- Rusterholz, A., 1920.** Das spezifisch-traumatische Klauensohlengeschwür des Rindes. *Schweizer Archiv für Tierheilkunde* 62, 421-446/505-525.
- Schmid, T., Weishaupt, M.A., Meyer, S.W., Waldern, N., Peinen, K., Nuss, K., 2009.** High-speed cinematographic evaluation of claw-ground contact pattern of lactating cows. *The Veterinary Journal* 181, 151-157.
- Schwarzmann, B., Kostlin, R., Nuss, K., 2007.** Difference in the dimensions of the digital bones and claws in calves. *Tierärztliche Praxis (G)* 35, 341-349.
- Sibley, R.J., 2012.** Easier and earlier detection of lameness in dairy cows. *Veterinary Record* 171, 499-500.
- Soht, J.T. 1999.** Ermittlung von Standardmassen für die Klauenpflege durch Untersuchungen über die Beziehung der anatomischen Innenstruktur zum Hornschuh an Klauen der Hintergliedmasse Deutsch Schwarzbunter Rinder mit Berücksichtigung von Reheveränderungen. Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover.
- Spielmann, C. 1990.** Messung der Druckverteilung unter Rinderklauen. Dissertation, Ludwig-Maximilians Universität München.
- Telezhenko, E., Bergsten, C., Magnusson, M., Nilsson, C., 2009.** Effect of different flooring systems on claw conformation of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 92, 2625-2633.
- Telezhenko, E., Bergsten, C., Magnusson, M., Ventorp, M., Nilsson, C., 2008.** Effect of different flooring systems on weight and pressure distribution on claws of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 91, 1874-1884.
- Telezhenko, E., Lidfors, L., Bergsten, C., 2007.** Dairy cow preferences for soft or hard flooring when standing or walking. *Journal of Dairy Science* 90, 3716-3724.
- Toussaint Raven, E., 1971.** Belastingmeting aan de ondervoet van het rund. *Tijdschr Diergeneesk* 96, 1237-1243.

Toussaint Raven, E., 1998. Klauenpflege beim Rind. Über die Entstehung und die Vorbeuge von Sohlengeschwüren. Landwirtschaftskammer Hannover.

Tranter, W.P., Morris, R.S., 1992. Hoof growth and wear in pasture-fed dairy cattle. The New Zealand Veterinary Journal 40, 89-96.

van der Tol, P.P., Metz, J.H., Noordhuizen-Stassen, E.N., Back, W., Braam, C.R., Weijs, W.A., 2002. The pressure distribution under the bovine claw during square standing on a flat substrate. Journal of Dairy Science 85, 1476-1481.

van der Tol, P.P., van der Beek, S.S., Metz, J.H., Noordhuizen-Stassen, E.N., Back, W., Braam, C.R., Weijs, W.A., 2004. The effect of preventive trimming on weight bearing and force balance on the claws of dairy cattle. Journal of Dairy Science 87, 1732-1738.

van der Waaij, E.H., Holzhauer, M., Ellen, E., Kamphuis, C., de Jong, G., 2005. Genetic parameters for claw disorders in Dutch dairy cattle and correlations with conformation traits. Journal of Dairy Science 88, 3672-3678.

Van Dorp, T.E., Boettcher, P., Schaeffer, L.R., 2004. Genetics of locomotion. Livestock Production Science 90, 247-253.

Vermunt, J.J., 1999. Regular claw trimming for the control of lameness--good or bad? The Veterinary Journal 157, 109-110.

Vermunt, J.J., Greenough, P.R., 1996. Hock angles of dairy heifers in two management systems. The British Veterinary Journal 152, 237-242.

Wilhelm, K., Wilhelm, J., Füll, M., 2015. Use of thermography to monitor sole haemorrhages and temperature distribution over the claws of dairy cattle. Veterinary Record 176, 146-152.

Zeiner, H., Schobesberger, H., Skalicky, M., Stanek, C., 2007. Effect of different claw trimming methods on the pressure distribution under the bovine claw--an in vitro study. Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift 120, 165-172.

9. Anhang

Tiernummer	Tiername	Ohrmarkennummer	Rasse	Alter in Monaten	Körpergewicht in Kilogramm	Haltung	letzte Klauenpflege in Monaten	Gliedmassenstellung
1	Parma	120.0855.0009.6	Braunvieh	69	635	Laufstall	6	steile Sprunggelenke
2	Paula	120.1045.8689.6	Braunvieh	36	590	Anbindestall	6	normale Gliedmassenstellung
3	Paola	120.0820.6407.2	Red Holstein	54	660	Anbindestall	6	normale Gliedmassenstellung
4	Laetitia	120.0955.5721.9	Holstein Friesian	45	560	Laufstall	4	steile Sprunggelenke und kuhhessige Gliedmassenstellung
5	Cigale	120.0777.5390.5	Holstein Friesian	81	720	Laufstall	7	normale Gliedmassenstellung
6	Priska	120.1063.4895.9	Red Holstein	25	530	Laufstall	12	normale Gliedmassenstellung
7	Vita	120.0756.7931.3	Holstein Friesian	62	730	Anbindestall	8	normale Gliedmassenstellung
8	Rova	120.0812.7914.9	Holstein Friesian	72	690	Anbindestall	12	kuhhessige Gliedmassenstellung
9	Questa	120.0729.0549.1	Holstein Friesian	81	600	Laufstall	4	normale Gliedmassenstellung
10	Zolivia	120.1051.6380.5	Braunvieh	36	710	Laufstall	1	steile Sprunggelenke
11	Big Time Bonita	120.1092.5264.2	Holstein Friesian	28	670	Laufstall	noch nie	fassbeinige Gliedmassenstellung
12	Curly	120.0974.4998.7	Holstein Friesian	49	670	Laufstall	6	normale Gliedmassenstellung
13	Jenny	120.0972.8453.3	Holstein Friesian	46	690	Anbindestall	1	kuhhessige Gliedmassenstellung
14	Grazie	120.0983.2180.0	Holstein Friesian	41	470	Laufstall	3	kuhhessige Gliedmassenstellung
15	Naomi	120.1046.7558.3	Braunvieh	38	615	Anbindestall	3	normale Gliedmassenstellung
16	Ricola	120.0661.7879.5	Braunvieh	86	670	Anbindestall	6	normale Gliedmassenstellung
17	Janka	120.0838.1135.4	Braunvieh	73	700	Laufstall	9	steile Sprunggelenke
18	Aillen	120.1076.1952.2	Holstein Friesian	35	620	Anbindestall	5	kuhhessige Gliedmassenstellung
19	Debbie-Jo	120.0988.4842.0	Holstein Friesian	43	650	Laufstall	6	normale Gliedmassenstellung
20	Sandra	120.1005.8620.3	Red Holstein	35	630	Anbindestall	4	fassbeinige Gliedmassenstellung
21	Tatjana	120.1034.7728.7	Braunvieh	32	720	Laufstall	6	fassbeinige Gliedmassenstellung
22	Rebecca	120.1021.2907.1	Holstein Friesian	40	615	Laufstall	1	steile Sprunggelenke
23	Feline	120.1081.8281.0	Red Holstein	31	600	Anbindestall	unbekannt	steile Sprunggelenke
24	Osaka	120.0916.1957.7	Red Holstein	66	590	Laufstall	6	normale Gliedmassenstellung
25	Belinda	120.0796.1269.9	Braunvieh	80	550	Anbindestall	2	kuhhessige Gliedmassenstellung

26	Schwan	120.0754.9914.0	Braunvieh	40	630	Laufstall	1	steile Sprunggelenke
27	Ines	120.0710.5782.5	Holstein Friesian	34	660	Laufstall	3	steile Sprunggelenke
28	Rita	120.1021.2904.0	Braunvieh	42	640	Laufstall	3	steile Sprunggelenke
29	Toscana	120.0958.5692.3	Holstein Friesian	59	710	Laufstall	4	kuhhessige Gliedmassenstellung
30	Pepsi	120.0971.4248.2	Braunvieh	48	590	Laufstall	5	steile Sprunggelenke
31	Nora	120.1131.2312.9	Braunvieh	27	600	Laufstall	unbekannt	steile Sprunggelenke
32	Delia	120.0698.2654.9	Holstein Friesian	40	650	Anbindestall	7	kuhhessige Gliedmassenstellung
33	Jeannette	120.0851.1014.1	Braunvieh	83	920	Laufstall	7	steile Sprunggelenke
34	Hanna	120.0675.4389.9	Braunvieh	45	640	Anbindestall	6	steile Sprunggelenke
35	Aileen	120.1058.0685.6	Holstein Friesian	25	570	Laufstall	6	normale Gliedmassenstellung
36	Mona	120.0976.7470.9	Holstein Friesian	45	650	Anbindestall	2	kuhhessige Gliedmassenstellung
37	Simona	120.0562.1802.9	Braunvieh	64	630	Laufstall	noch nie	kuhhessige Gliedmassenstellung
38	Olive	120.1049.5451.0	Holstein Friesian	53	570	Anbindestall	unbekannt	kuhhessige Gliedmassenstellung
39	Orchidee	120.1016.7314.8	Holstein Friesian	62	620	Anbindestall	8	kuhhessige Gliedmassenstellung
40	Jessy	120.1159.3079.4	Holstein Friesian	30	555	Anbindestall	noch nie	kuhhessige Gliedmassenstellung

10.Danksagung

An diese Stelle möchte ich mich ganz herzlich bei den Personen bedanken, die mir diese Arbeit ermöglicht haben:

Prof. Dr. K. Nuss für die Erarbeitung des Themas, die Betreuung und Unterstützung während des Erstellens der Doktorarbeit sowie während der Arbeit in der Klinik, und die Übernahme des Referats.

Prof. Dr. M. Hässig für die Übernahme des Koreferats.

Frau Isabelle Lüchinger für die Zusammenarbeit, die Ideenanstösse und die guten Hilfestellungen und Diskussionen.

Herrn Dipl. Ing. Thomas Wiestner für die Adaptation der Software an das Messsystem und die Hilfe bei der Interpretation der Messwerte.

Den Tierpflegern Martin Schönthal, Joel Schönbächler, Chantal Baumgartner und Franziska Dreier für das Pflegen und Führen der Kühe sowie für die Mithilfe bei der Arbeit am Messstand.

Herrn Luciano Schmid für das Konstruieren und Instandhalten des Messstandes.

Herrn Laurent Hoffmann der Firma NUMO Systems AG für die Kontrolle und Wartung des Messsystems.

Herrn Andres Cardona Gavaldon für das Erstellen der Makros im Microsoft Excel.

Dipl. Math. ETH. B. Hässig Urech für die Unterstützung bei der statistischen Auswertung.

Herrn Stefan Hodel (Braunvieh Schweiz) für die Beantwortung von Fragen betreffend der linearen Beschreibung von Kühen

Den Landwirten für die Kühe, die sie mir zur Verfügung gestellt haben.

Herrn Tiedemann, Familie und Freunden für die emotionale Unterstützung während dem Erstellen der Arbeit.

11. Lebenslauf

Judith Müller

21.09.1988	Geboren in Teufen AR
1995-2001	Primarschule Alleeschulhaus, Wil SG
2001-2004	Sekundarschule St. Katharina, Wil SG
2004-2007	Fachmittelschule, Kantonsschule am Brühl St. Gallen
2007-2009	Interstaatliche Maturitätsschule für Erwachsene, Kantonsschule am Burggraben St. Gallen
2009-2015	Veterinärmedizinstudium an der Vetsuisse-Fakultät Zürich
Januar 2015	Staatsexamen mit Erlangen des Alumnipreises für den besten Notendurchschnitt
Februar 2015-März 2018	Assistentztierärztin, Doktorandin und FVH-Auszubildende am Departement für Nutztiere, Abteilung für Nutztierchirurgie der Vetsuisse-Fakultät der Universität Zürich
Seit April 2018	Assistentztierärztin Tierarztpraxis Dammbühl AG, Wängi TG